

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# La radioprotection des travailleurs

Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants  
en France : bilan 2012

PRP-HOM/2013-008

Pôle radioprotection, environnement, déchets  
et crise



---

**RESUME**

Le bilan de la surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants concerne l'ensemble des secteurs d'activité soumis à un régime d'autorisation ou de déclaration, y compris ceux de la défense : activités médicales et vétérinaires, domaine nucléaire, industrie non nucléaire et domaine de la recherche et de l'enseignement, ainsi que les secteurs concernés par une exposition à la radioactivité naturelle.

L'effectif suivi en 2012 dans le cadre des activités soumises à autorisation ou à déclaration est en augmentation de 3% par rapport à 2011, avec un effectif de 354 665, suivant la même tendance que les années précédentes. Parallèlement, la dose collective<sup>1</sup> mesurée par dosimétrie externe passive diminue de 3% en 2012, atteignant 62,35 homme.Sv. La dose individuelle moyenne sur l'ensemble de l'effectif surveillé reste stable (0,18 mSv). Parmi les 13 977 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 1 849 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 6 mSv<sup>2</sup>, données stables par rapport à l'année précédente. Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour 14 travailleurs. Des variations importantes dans la répartition des doses sont observées selon les domaines d'activité. Ainsi, le domaine médical et vétérinaire, qui regroupe la majorité des effectifs surveillés (62%), et le domaine de la recherche (4% des effectifs) présentent chacun une dose individuelle moyenne<sup>3</sup> inférieure à 0,5 mSv, alors que les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 30% des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,17 et 1,54 mSv). Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2012, 11 travailleurs ont eu une dose efficace engagée<sup>4</sup> supérieure à 1 mSv. La plus forte dose engagée enregistrée est égale à 4 mSv.

Concernant l'exposition à la radioactivité naturelle, ce rapport présente également le bilan dosimétrique des personnels navigants de l'aviation civile, soumis au rayonnement cosmique, qui inclut les données de 20 823 travailleurs de 4 compagnies aériennes. La dose individuelle moyenne est stable (1,9 mSv vs. 2,0 mSv en 2011) et la dose individuelle maximale s'élève à 4,4 mSv.

---

**ABSTRACT**

The annual statistics of occupational exposure to ionising radiation includes all civilian or military activities under authorisation or declaration (i.e. medical and veterinary activities, nuclear industry, defence, non nuclear industry and research), as well as activities concerned by the enhanced exposure to natural radiation.

The number of workers monitored in activities under authorisation or declaration increased to 354 665 in the year 2012, i.e. 3% more than in 2011. In the same time, the collective dose of workers monitored with passive dosimetry decreased to 62.35 man.Sv, i.e. 3% less than in 2011. The average annual individual dose is 0.18 mSv, which is very similar to the year 2011. Among the 13 977 workers having received more than 1 mSv (legal dose limit for the public), 1 849 workers received more than 6 mSv. Forteen workers received more than 20 mSv (dose limit for

---

<sup>1</sup> La dose collective est la somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes données. A titre d'exemple, la dose collective de 10 personnes ayant reçu chacune 1 mSv est égale à 10 homme.mSv.

<sup>2</sup> Conformément au code du travail, les travailleurs exposés à plus de 6 mSv/an sont classés en catégorie A, ceux exposés à moins de 6 mSv/an en catégorie B.

<sup>3</sup> Les valeurs indiquées dans ce paragraphe correspondent à la dose moyenne calculée sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement des dosimètres.

<sup>4</sup> En cas de contamination interne par un radionucléide, la dose dite engagée est celle délivrée sur toute la durée pendant laquelle le radionucléide est présent dans l'organisme. Par défaut, la période d'engagement considérée est de 50 ans.

the workers in the French regulation). Important differences are observed between the occupational activities: in the medical and veterinary field (62% of the monitored workers) and in the research field (4% of the monitored workers) the average doses<sup>5</sup> are less than 0.5 mSv; the average doses in the nuclear field and in the non nuclear industry (representing together 30% of the monitored workers) are higher, respectively 1.19 and 1.54 mSv. In 2012, 11 workers had a committed effective dose higher or equal to 1 mSv, the maximum dose being of 4 mSv.

The annual statistics also consider the results of aircrew dosimetry: in 2011, 20 823 aircrew members of 4 civilian airline companies received an averaged dose of 1.9 mSv, the maximum individual dose being equal to 4.4 mSv.

---

#### MOTS-CLES

Travailleurs, doses, bilan des expositions, secteurs d'activité, poste de travail, incidents

---

<sup>5</sup> Calculated over the number of workers having a dose superior to the dosimeters recording level

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	p 11	<b>DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE</b>	
<b>LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS</b>	p 12	• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	P 72
• RAPPELS REGLEMENTAIRES	p 12	• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	P 75
• MODALITES DE SURVEILLANCE	p 14	• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	P 76
- Surveillance de l'exposition externe	p 15	• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	P 76
- Surveillance de l'exposition interne	p 17		
- Surveillance de l'exposition au rayonnement cosmique	p 22	<b>DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT</b>	
- Surveillance de l'exposition aux Matériaux NORM ou au radon d'origine géologique	p 24	• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	P 80
- Centralisation des résultats de la surveillance individuelle dans SISERI	p 24	• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	P 83
• MOYENS ET ACTIONS DE L'IRSN	p 28	• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	P 84
• METHODOLOGIE	p 32	• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	P 84
<b>RESULTATS GENERAUX (hors radioactivité naturelle)</b>		<b>EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE</b>	
• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 36	• EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE	P 88
• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 41	• EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE	P 89
• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 44		
• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 47		
		<b>ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION</b>	
		• AIDE A LA MISE EN ŒUVRE DE LA NOUVELLE NORME NF C 15-160	P 93
		• SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE AUX RADIONUCLEIDES DE PERIODE COURTE	P 94
		• PERSPECTIVES D'ABAISSEMENT DE A LIMITE DE DOSE AU CRISTALLIN	P 95
		• DEVELOPPEMENT D'UNE PLATE-FORME EUROPEENNE D'INFORMATION ET D'ECHANGES SUR LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	p 96
		<b>CHIFFRES CLEFS</b>	p 98
		<b>CONCLUSIONS</b>	p 99
		<b>REFERENCES</b>	p 100
		<b>ANNEXE</b>	p 102
<b>DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES</b>			
• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	P 50		
• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	P 54		
• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	P 55		
• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	P 55		
• OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE	P 56		
<b>DOMAINE NUCLEAIRE</b>			
• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	P 60		
• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	P 64		
• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	P 69		
• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	P 69		

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## TABLEAUX

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition	p 12
Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2012	p 16
Tableau 3 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2012	p 22
Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration	p 37
Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2012	p 42
Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2012	p 43
Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2012	p 45
Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2004 - 2012	p 48
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 51
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 54
Tableau 11 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine médical et vétérinaire	p 54
Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 56
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire	p 61
Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)	p 64
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire	p 65
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire	p 66
Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire	p 67
Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire	p 67
Tableau 19 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine nucléaire	p 68
Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire	p 69
Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN	p 70
Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire	p 73
Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire	p 75
Tableau 24 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire	p 76
Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire	p 77

Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 81
Tableau 27 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 83
Tableau 28 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 84
Tableau 29- Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche (recherche liée aux installations nucléaires) en fonction des critères de déclaration ASN	p 85
Tableau 30 - Bilan 2012 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Regional, Air Calédonie International, et Unijet)	p 88
Tableau 31 - Bilan 2012 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire	p 88
Tableau 32 - Données concernant l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium	p 92
Tableau 33 - Données concernant l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium	p 92

## FIGURES

Figure 1 - Mesure anthroporadiométrique à l'aide de détecteurs GeHP	p 19
Figure 2 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie $\gamma$ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	p 19
Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	p 21
Figure 4 - Le système SISERI	p 25
Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service	p 27
Figure 6 - Fantôme anthropomorphe IGOR	p 30
Figure 7 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2012	p 38
Figure 8 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2012	p 39
Figure 9- Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition aux neutrons de 2005 à 2012	p 39
Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées aux extrémités en 2012	p 40
Figure 11 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2012, suivant les domaines d'activité	p 41
Figure 12 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands domaines d'activité en 2012 (surveillance de routine)	p 42
Figure 13 - Evolution, de 2006 à 2012, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv	p 44
Figure 14 - Evolution, de 1996 à 2012, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv	p 46
Figure 15 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2012)	p 46
Figure 16 - Répartition des événements concernant des travailleurs selon leur domaine d'activité	p 47

Figure 17 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2012)	p 52
Figure 18 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2012 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 53
Figure 19 - Répartition des doses enregistrées en 2012 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire	p 62
Figure 20 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2012)	p 63
Figure 21 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2012)	p 74
Figure 22 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2012)	p 82
Figure 23 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2012)	p 90
Figure 24 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA	p 94
Figure 25 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie VLA	p 95



## TABLE DES FOCUS

Vers un renforcement des dispositions réglementaires pour le suivi de l'exposition des travailleurs	p 13
Surveillance de l'exposition aux neutrons	p 16
Recommandations de bonne pratique pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB	p 18
Exposition des personnels navigants aux rayonnements ionisants	p 23
Les évolutions souhaitables de SISERI dans les années futures	p 28
Un exemple de surveillance de l'exposition interne dans le cadre d'un incident	p 31
Projet de norme ISO concernant la radioprotection auprès des accélérateurs médicaux	p 57
Incident intervenu lors de l'utilisation d'un gammagraphe	p 77
Evaluation du risque de cataracte radio-induite chez les cardiologues interventionnels	p 96

## PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation  
ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire  
CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives  
CEI : Commission Electrotechnique Internationale  
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique  
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
COCT : Conseil d'orientation sur les conditions de travail (Direction générale du travail, Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social)  
COFRAC : Comité Français d'Accréditation  
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA  
DGT : Direction Générale du Travail  
DSND : Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense  
HERCA : Heads of the European Radiological protection Competent Authorities  
INES : International Nuclear Event Scale  
INB : Installation Nucléaire de Base  
INBS : Installation Nucléaire de Base Secrète  
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique  
INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale  
IPHC : Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE  
IPN : Institut de Physique Nucléaire d'Orsay  
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire  
ISO : International Standard Organization  
LBM : Laboratoire de Biologie Médicale  
LAMR : Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques de l'IRSN  
LDI : Laboratoire de Dosimétrie de l'IRSN  
MDT : Médecin du Travail  
NORM : Naturally Occuring Radioactive Materials  
OSL : Optically Stimulated Luminescence  
PCR : Personne Compétente en Radioprotection  
RNIPP : Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques  
RPL : RadioPhotoLuminescent dosemeter  
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants  
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées  
SST : Service de Santé au Travail  
TLD : ThermoLuminescent Dosemeter

# INTRODUCTION

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a été créé par la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 ; ses missions ont été précisées par le décret n° 2002-254 du 22 février 2002, modifié le 7 avril 2007 pour tenir compte de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006, relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Comme les agences de sécurité sanitaire, l'Institut joue un rôle actif dans le domaine de l'évaluation des risques pour la santé humaine. Il a, entre autres missions, celle d'information du public dans ses domaines de compétences : les risques nucléaires et radiologiques.

L'Institut, qui rassemble plus de 1 700 salariés parmi lesquels de nombreux experts, ingénieurs et chercheurs de compétences variées (physiciens, chimistes, géologues, médecins, biologistes, épidémiologistes...), réalise des recherches, des expertises et des travaux afin de maîtriser les risques associés aux sources de rayonnements ionisants utilisées dans l'industrie, la recherche ou la médecine, ou encore aux rayonnements naturels. Plus précisément, l'IRSN exerce ses missions d'expertise et de recherche dans les domaines suivants :

- la sûreté des installations nucléaires, y compris celles intéressant la défense,
- la sûreté des transports de matières nucléaires et fissiles,
- la protection des travailleurs et de la population contre les rayonnements ionisants,
- la protection de l'environnement contre les rayonnements ionisants,

- la protection et le contrôle des matières nucléaires et des produits susceptibles de concourir à la fabrication d'armes,
- la protection des installations et des transports contre les actions de malveillance.

Des activités de recherche, souvent réalisées dans le cadre de programmes internationaux, permettent à l'IRSN de maintenir et de développer son expertise et d'asseoir sa position internationale de spécialiste des risques dans ses domaines de compétence, en particulier celui de la radioprotection des travailleurs.

Dans ce domaine, l'IRSN apporte un appui technique au ministère chargé du travail [Direction Générale du Travail (DGT)], à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) ainsi qu'au Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense (DSND). L'Institut mène également des études pour ses propres besoins d'expertise ou pour répondre à des demandes extérieures.

Au titre de sa mission de veille permanente en matière de radioprotection, l'IRSN assure une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. L'objet de ce document est de présenter le bilan des expositions professionnelles établi par l'IRSN pour l'année 2012, compte tenu notamment de la nature des activités professionnelles, conformément aux dispositions de l'article R. 4451-128 du Code du travail.

# LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

## RAPPELS REGLEMENTAIRES

Conformément aux dispositions du code du travail (articles R.4451-1 et 2), une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants est mise en œuvre dès lors que ceux-ci sont susceptibles d'être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants résultant :

- d'activités nucléaires soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration ;
- de la présence sur le lieu de travail de radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives ;
- de la présence de rayonnements cosmiques.

Cette surveillance s'applique à tous les travailleurs, salariés ou non salariés (article R.4451-9 du code du travail).

A des fins de mise en place de la surveillance du travailleur, l'employeur procède à une analyse des postes de travail qui est renouvelée périodi-

quement et qui doit comprendre une étude dosimétrique de ces postes (article R.4451-11 du code du travail). Sur la base de ces analyses, l'employeur procède au classement radiologique du travailleur. Le travailleur susceptible de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an ou une dose équivalente supérieure aux 3/10èmes des limites annuelles d'exposition est classé en catégorie A, sinon il est classé en catégorie B (articles R.4451-44 et 46 du code du travail).

Dès lors qu'il est classé en catégorie A ou B, le travailleur bénéficie d'un suivi dosimétrique individuel et d'une surveillance médicale renforcée. Le suivi dosimétrique individuel a notamment pour objectif de vérifier que le travailleur ne dépasse pas l'une des limites annuelles réglementaires de dose.

Les limites annuelles applicables en France (articles R.4451-12 et 13 du code du travail) sont rappelées dans le tableau 1.

**Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition**

	Corps entier (Dose efficace)	Main, poignet, pied, cheville (Dose équivalente)	Peau (Dose équivalente sur tout cm <sup>2</sup> )	Cristallin (Dose équivalente)
Travailleur	20 mSv	500 mSv	500 mSv	150 mSv <sup>(*)</sup>
Jeune travailleur (de 16 à 18 ans)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	45 mSv <sup>(*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Un abaissement de la limite de dose au cristallin est attendu lors de la prochaine transposition en droit français de la nouvelle directive «normes de base» révisant les directives Euratom 89/618, 90/641, 96/29, 97/43 et 2003/122, qui a été adoptée fin mai 2013.

Le suivi dosimétrique individuel est obligatoirement mensuel pour les travailleurs classés en catégorie A ; il est soit trimestriel, soit mensuel pour ceux classés en catégorie B (arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants). Il doit être adapté au type de risque d'exposition du travailleur (article R. 4451-62 du code du travail). Lorsque le travailleur est exposé à un risque d'exposition externe, il est suivi par une dosimétrie externe passive. Il ne doit être doté que d'un seul type de dosimètre passif par type de rayonnement mesuré et par période de port. La mesure de rayonnements de nature différente peut rendre nécessaire le port simultané de plusieurs dosimètres qui, lorsque cela est techniquement possible, sont rassemblés dans un même conditionnement. Selon les circonstances de l'exposition, et notamment lorsque celle-ci n'est pas homogène, le port de dosimètres supplémentaires doit permettre d'évaluer les doses équivalentes à certains organes ou parties du corps (tête, poignet, main, pied, doigt, abdomen, cristallin, etc.) et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 4451-12 et 13 du code du travail. Lorsque le travailleur est exposé à un risque

d'exposition interne, le suivi est effectué par des mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques qui permettent, le cas échéant, de calculer la dose efficace ou équivalente engagée.

Le personnel navigant exposé au rayonnement cosmique à un niveau susceptible de conduire à une dose annuelle supérieure à 1 mSv est suivi au moyen d'une dosimétrie calculée (arrêté du 8 décembre 2003 fixant les modalités de mise en œuvre de la protection contre les rayonnements ionisants des travailleurs affectés à l'exécution de tâches à bord d'aéronefs en vol). Enfin, les travailleurs susceptibles d'être exposés au radon doivent avoir un suivi individuel de leur exposition, dès lors que les mesures d'activité volumique du radon dans l'ambiance de travail dépassent 1 000 Bq/m<sup>3</sup> (Arrêté du 8 décembre 2008 portant homologation de la décision 2008-DC-0110 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 septembre 2008 relative à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail). Enfin, s'agissant de la surveillance des travailleurs exposés à la radioactivité naturelle renforcée (industries dites NORM), celle-ci doit être mise en place dès lors qu'ils sont susceptibles d'être exposés à une dose annuelle supérieure à 1 mSv.

## FOCUS

### Vers un renforcement des dispositions réglementaires pour le suivi de l'exposition des travailleurs

L'arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, décline les modalités de surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Afin de prendre en compte les aménagements apportés aux règles de surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants par le décret n° 2007-1570 du 5 novembre 2007, en particulier celles relatives aux rayonnements d'origine naturelle, et d'apporter les aménagements réglementaires garantissant la pleine efficacité du dispositif national de suivi de l'exposition des travailleurs sur la base du retour d'expérience de plus de cinq années de fonctionnement, une refonte de cet arrêté a été initiée dès 2009 avec la mise en place d'un groupe de travail associant la DGT, les organismes agréés pour la surveillance de l'exposition des travailleurs et l'IRSN. La DGT et l'ASN avec l'appui de l'IRSN ont ensuite élaboré un projet de texte qui a fait l'objet de consultations des partenaires sociaux et des groupes d'experts de l'ASN. A l'issue des dernières consultations et avis formels, ce texte devrait être publié courant 2013 avec une date d'entrée en vigueur fixée au 1<sup>er</sup> juillet 2014.

Les modalités de surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants se trouvent à la fois précisées et renforcées avec ce nouveau texte. Celui-ci renforce notamment les prescriptions concernant les moyens matériels mis en œuvre pour le suivi, mais aussi les exigences de délais d'obtention des résultats des mesures et de leur transmission à SISERI.

Ce texte vient par ailleurs consolider le rôle du médecin du travail dans le dispositif de suivi de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, renforce le caractère opérationnel de la carte de

suivi médical comme support d'informations relatives aux travailleurs exposés et fixe les bases réglementaires de sa dématérialisation et de sa gestion par le système d'information SISERI.

## MODALITES DE LA SURVEILLANCE

La dosimétrie individuelle doit être adaptée au poste de travail en permettant l'évaluation « aussi correcte que raisonnablement possible » des doses reçues par le travailleur affecté à ce poste, compte tenu des situations d'exposition et des contraintes existantes :

- la dosimétrie externe consiste à estimer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnements ionisants (rayons X, gamma, bêta, neutrons) générés par une source extérieure à la personne. Cette estimation est réalisée :

- au moyen de dosimètres passifs, portés par les travailleurs sur une période mensuelle ou trimestrielle et adaptés aux différents types de rayonnements, qui permettent de déterminer la dose reçue par le corps entier (dosimètres portés à la poitrine) ou par une partie du corps (peau, doigts, cristallin), en différé après lecture par un organisme de dosimétrie agréé. Lorsque le travailleur intervient dans une zone réglementée contrôlée, il doit en outre porter un dosimètre électronique (dosimétrie opérationnelle) ;
- par le calcul, pour ce qui concerne les doses de rayonnements cosmiques reçues en vol par les personnels navigants, au moyen du système SIEVERT ;

- la dosimétrie interne vise à évaluer la dose reçue à la suite d'une incorporation de substances radioactives. En milieu professionnel, la surveillance individuelle est assurée par des examens anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne corporelle) et des analyses radiotoxicologiques (dosages réalisés sur des excréta). Les différents types de surveillance de l'exposition interne (systématique, spéciale,...) sont définis dans la norme ISO 20553 [1]. Lorsque

l'exposition est avérée et jugée significative, un calcul de dose est réalisé.

Il existe une différence importante entre le suivi de l'exposition externe et le suivi de l'exposition interne. Le suivi de l'exposition externe repose sur des mesures directes et bien standardisées (en dehors du cas particulier du personnel navigant pour qui la dose est évaluée par un calcul). Dans tous les cas, la détermination de la dose externe est possible. Le suivi de l'exposition interne a davantage pour but de vérifier l'absence de contamination que d'estimer systématiquement la dose interne, le calcul de la dose engagée impliquant une démarche plus complexe qui fait intervenir de nombreux paramètres souvent déterminés avec une incertitude importante. Ce calcul n'est par conséquent réalisé que dans les cas où la contamination mesurée est jugée significative.

Dans le cas particulier de l'exposition résultant de l'inhalation des radionucléides naturels en suspension dans l'air (descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et/ou émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium), la dose est déterminée à partir des mesures réalisées sur un dosimètre spécifique.

En application de l'article R. 4451-64 du code du travail, les mesures ou les calculs nécessaires à la surveillance de référence des travailleurs exposés sont réalisés par l'un des organismes suivants :

- l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ;
- un service de santé au travail titulaire d'un certificat d'accréditation ;
- un organisme de dosimétrie ou un laboratoire de biologie médicale (LBM) titulaire d'un certificat d'accréditation et agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION

### *Les organismes de dosimétrie individuelle*

A la fin de l'année 2012, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 7 : AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, DOSILAB, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LANDAUER Europe, et le SPRA.

Leurs coordonnées sont disponibles sur le site internet SISERI :

[www.irsn.fr/SISERI/index.php?page=information/agrement](http://www.irsn.fr/SISERI/index.php?page=information/agrement)

A ces organismes s'ajoute le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN, non soumis à agrément.

### *Les différentes techniques*

Le tableau 2 présente un panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2012. Les techniques utilisées en 2012 sont décrites ci-après.

stimulée, les dosimètres OSL peuvent être ré-analysés plusieurs fois. Les dosimètres OSL sont sensibles aux rayonnements X,  $\beta$  et  $\gamma$ .

#### **Le dosimètre thermoluminescent (TLD)**

De manière simplifiée, la thermoluminescence est la propriété que possèdent certains matériaux (le fluorure de lithium par exemple) de libérer, lorsqu'ils sont chauffés, une quantité de lumière qui est proportionnelle à la dose de rayonnements ionisants à laquelle ils ont été exposés. La mesure de cette quantité de lumière permet, moyennant un étalonnage préalable, de déterminer la dose de rayonnements ionisants absorbée par le matériau thermoluminescent. Le dosimètre TLD permet de détecter les rayonnements X,  $\beta$  et  $\gamma$ , et les neutrons moyennant l'utilisation de matériaux appropriés.

#### **Le dosimètre utilisant la radio photo luminescence (RPL)**

Dans le cas de la technologie RPL, les rayonnements ionisants incidents arrachent des électrons à la structure d'un détecteur en verre. Ces électrons sont ensuite piégés par des impuretés contenues dans le verre. Il suffit alors de placer le dosimètre sous un faisceau ultra-violet pour obtenir une « désexcitation » et donc une émission de lumière proportionnelle à la dose. Ce dosimètre offre également des possibilités de relecture. Il permet la détection des rayonnements X,  $\beta$  et  $\gamma$ .

#### **Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (OSL)**

La technologie OSL, tout comme pour le TLD, repose sur le principe de lecture d'une émission de lumière par le matériau irradié, mais après une stimulation par diodes électroluminescentes au lieu du chauffage. Contrairement au TLD, l'OSL autorise la relecture du dosimètre. En effet, comme seule une petite fraction du dosimètre est

#### **Le détecteur solide de traces**

La détection solide de traces est l'une des deux techniques de dosimétrie des neutrons, l'autre étant la technique TLD (Cf. plus haut). Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR-39) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2012

Secteur d'activité ou établissement	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil* (en mSv)	Dosimètres Bagues	Seuil* (en mSv)
AREVA NC La Hague	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons(d'albédo) : TLD	0,1 (0,34 pour les neutrons)	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,1 (pour les X et $\gamma$ )	-	-
AREVA NC Marcoule	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons (d'albédo) : TLD	0,1 (0,33 pour les neutrons)	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,5	-	-
DOSILAB	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
IPHC	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,1	-	-
IPN	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,05	-	-	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	-	-
IRSN	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,05	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1		
LANDAUER EUROPE	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,05	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (standard <sup>(*)</sup> ou équipé d'un radiateur en téflon <sup>(***)</sup> )	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
SPRA	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	-	-

(\*) Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée (seuil d'enregistrement retenu par le laboratoire).

(\*\*) Mesure des neutrons intermédiaires et rapides.

(\*\*\*) Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

### Le seuil d'enregistrement des doses externes passives

La réglementation fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles, à savoir les équivalents de dose individuels  $H_p(10)$ ,  $H_p(0,07)$  et  $H_p(3)$ , qui correspondent respectivement à la mesure de dose en profondeur dans les tissus (risque d'exposition du corps entier), à la mesure de dose à la peau (risque d'exposition de la peau et des extrémités) et à la mesure de la dose au cristallin, même si cette dernière n'est pas encore mise concrètement en œuvre, faute de dispositifs parfaitement adaptés.

Selon la réglementation, le seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) ne peut être supérieur à 0,1 mSv et le pas d'enregistrement ne peut être supérieur à 0,05 mSv (valeurs applicables pour la dosimétrie corps entier depuis le 1er janvier 2008). Le seuil d'enregistrement est à distinguer de la notion de seuil de détection du dosimètre qui caractérise la valeur à partir de laquelle, compte-tenu des performances techniques du dosimètre, la valeur mesurée est considérée comme valide.

## FOCUS

### Surveillance de l'exposition aux neutrons

Cette surveillance concerne en France un peu plus de 10% de l'effectif total surveillé par dosimétrie externe passive. Ces travailleurs interviennent principalement dans différents secteurs d'activité du nucléaire (fabrication et retraitement du combustible, décontamination des châteaux de transport du combustible irradié,...) mais une exposition aux neutrons est également possible auprès d'accélérateurs de particules utilisés dans le domaine médical, la recherche ou l'industrie, lorsque l'énergie de ces particules est élevée.

Les neutrons produisent des effets biologiques plus importants que les rayonnements X et  $\gamma$  pour une dose donnée, et contrairement à ces derniers, les effets des neutrons sont fortement dépendants de leur



énergie (d'un facteur 5 à 20 selon les énergies). Suivant les postes de travail, la gamme d'énergie des neutrons auxquels peuvent être exposés les travailleurs est très étendue : de  $10^{-3}$  à  $10^8$  eV. A ceci s'ajoute le fait que, de par leur nature, les neutrons ne sont pas aisément détectables.

Jusqu'en 2000, la dosimétrie des neutrons avait le statut de « dosimétrie complémentaire » et ce n'est qu'ensuite que les valeurs de dose issues des rayonnements photoniques et neutroniques ont commencé à être comptabilisées séparément. De la même façon, les techniques de dosimétrie des neutrons ont évolué au cours du temps. A partir de 2004, les détecteurs solides de traces nucléaires commencent à être utilisés, remplaçant peu à peu les « dosimètres à bulles » considérés comme peu fiables du fait de leur grande sensibilité aux conditions environnementales.

Aujourd'hui, les deux techniques utilisées pour la dosimétrie passive des neutrons sont (Cf. tableau 2) :

- les dosimètres à albédo qui utilisent des détecteurs thermoluminescents. Fortement dépendants du spectre en énergie des neutrons, leur utilisation doit être réservée aux lieux de travail où le spectre neutronique est bien connu et stable ;
- les dosimètres à détection solide de traces nucléaires.

Parallèlement, les travailleurs doivent, lors de toute intervention en zone contrôlée, être équipés d'un dosimètre opérationnel (électronique) permettant également la détection des neutrons.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION

La surveillance de l'exposition interne concerne les personnels travaillant dans un environnement susceptible de contenir des substances radioactives (manipulation de sources non scellées, opérations de décontamination,...). Les voies possibles d'incorporation de ces composés radioactifs sont l'inhalation, l'ingestion, la pénétration transcutanée et la blessure. L'irradiation des tissus et des organes se poursuit tant que le radionucléide est présent dans l'organisme. De ce fait, l'exposition interne est appréciée en évaluant la dose engagée reçue en 50 ans (pour un adulte) au niveau d'un organe, d'un tissu ou de l'organisme entier par suite de l'incorporation d'un ou plusieurs radionucléides.

En pratique, sont concernés les travailleurs des installations nucléaires des domaines civil et militaire, des services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherche utilisant des traceurs radioactifs (recherche médicale, biologique et radiopharmaceutique essentiellement).

La surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de santé au travail (SST). Dans le domaine nucléaire, les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires de biologie médicale (LBM) - ou par les SST dans certains cas - des entreprises exploitantes : défense, CEA, AREVA, EDF.

S'agissant des professionnels du domaine médical et de la recherche, les examens prescrits par les médecins du travail sont pour la plupart réalisés par l'IRSN.

La surveillance individuelle de l'exposition interne est mise en œuvre par le chef d'établissement dès lors qu'un travailleur opère dans une zone surveillée ou contrôlée où il existe un risque de contamination. Le choix et la périodicité des examens sont déterminés par le médecin du travail, en fonction de la nature et du niveau de l'exposition, ainsi que des radionucléides en cause.

Cette surveillance consiste soit en des examens anthroporadiométriques qui permettent une mesure *in vivo* directe de l'activité des radionucléides présents dans l'organisme, soit en des analyses radiotoxicologiques, c'est-à-dire des dosages de l'activité des radionucléides présents dans des échantillons d'excrétas (urines, fèces, prélèvements nasaux par mouchages). Ces techniques ne sont pas nécessairement exclusives et peuvent être mises en œuvre conjointement pour un meilleur suivi de l'exposition. Des considérations pratiques doivent également être prises en compte : par exemple, le fait que l'examen anthroporadiométrique nécessite de faire déplacer le travailleur vers l'installation fixe de mesure. Les mesures peuvent être réalisées à intervalle régulier, à l'occasion d'une manipulation

inhabituelle ou encore en cas d'incident. La norme ISO 20553 [1] définit les programmes optimaux de surveillance individuelle : de routine (ou systématique), spéciale, de contrôle et de chantier.

Dans la grande majorité des cas, la mesure vise davantage à s'assurer de l'absence de contamination chez le travailleur qu'à calculer une dose interne. Le cas échéant, le calcul de la dose

engagée est réalisé sous la responsabilité du médecin du travail, à partir des résultats des mesures anthroporadiométriques et des analyses radiotoxicologiques, grâce à des modèles tenant compte de la répartition du radionucléide dans l'organisme et de son devenir en fonction du temps (Cf. p 20).

## FOCUS

### Recommandations de bonne pratique pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB

Considérant les difficultés opérationnelles exprimées par les SST pour assurer la surveillance de l'exposition interne aux radionucléides d'origine professionnelle dans les INB, un groupe de travail constitué de médecins du travail et d'experts (dont des experts de l'IRSN) a œuvré à l'élaboration d'un guide et recommandations de bonne pratique. Publié en juillet 2011, ce guide a pour objectif d'optimiser le suivi dosimétrique et médical des travailleurs exposés au risque d'exposition interne, dans le souci de promouvoir l'harmonisation des pratiques, le renforcement de la traçabilité des expositions internes et l'amélioration des actions d'information auprès des travailleurs concernés.

Les recommandations ont été élaborées selon la méthode pour la pratique clinique de la Haute Autorité de Santé, et reposent sur les connaissances scientifiques et le retour d'expérience des pratiques professionnelles en dosimétrie interne. Ces recommandations concernent le champ des installations nucléaires de base (INB) mais peuvent également servir de base à l'élaboration de recommandations couvrant les autres domaines d'activité.

Le guide est disponible sur le site de la Société Française de Médecine du Travail : <http://www.chu-rouen.fr/sfmt/pages/accueil.php>.

### *Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne*

A la fin de l'année 2011, les LBM ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et/ou anthroporadiométrie) sont au nombre de 9 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis et le Service

de Protection Radiologique des Armées (SPRA). Les agréments sont délivrés sur décision de l'ASN pour une durée de 5 ans maximum.

A ces organismes s'ajoutent les laboratoires de l'IRSN et les services de santé au travail (SST), non soumis à agrément.

### *Les méthodes de mesure de contamination*

#### **Les examens anthroporadiométriques**

L'anthroporadiométrie consiste à quantifier l'activité retenue à un instant donné dans l'organisme entier ou dans un organe spécifique (poumons, thyroïde, etc.) en détectant les rayonnements X ou  $\gamma$  associés à la désintégration du(es) radionucléide(s) incorporé(s). Les mesures du corps entier sont particulièrement bien

adaptées aux émetteurs de rayonnements  $\gamma$  d'énergie supérieure à 200 keV (produits de fission et d'activation). Les mesures pulmonaires des émetteurs de rayonnements X et  $\gamma$  de basse énergie permettent de déterminer la rétention d'activité en cas d'exposition aux actinides (le plutonium 239 par exemple) ; cette technique reste cependant limitée par sa faible sensibilité. Enfin, la mesure

thyroïdienne à l'aide de détecteurs spécifiques est mise en œuvre pour les isotopes de l'iode.

Les mesures anthroporadiométriques sont réalisées dans des cellules blindées, afin de réduire le bruit de fond radiatif ambiant, à l'aide de systèmes de mesure possédant un ou plusieurs détecteurs (figure 1). Il s'agit soit de détecteurs semi-conducteurs de type Germanium Hyper Pur (Ge HP), soit de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)).



**Figure 1 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP**

L'identification des radionucléides présents est obtenue en comparant, à des énergies caractéristiques, les pics d'absorption totale à ceux des spectres des radionucléides enregistrés dans les bibliothèques de données nucléaires. L'activité est déterminée par comparaison entre l'aire des pics obtenus lors des mesures de personnes et les valeurs de référence obtenues lors de mesures de fantômes anthropomorphes utilisés pour l'étalonnage du système de détection. Cette technique est donc sensible à l'étalonnage : celui en énergie, réalisé à l'aide de sources étalons, et celui en efficacité, réalisé à l'aide de fantômes anthropomorphes dans lesquels on place des sources d'activité connue.

### Les analyses radiotoxicologiques

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta (figure 2). Les échantillons sont le plus souvent constitués de prélèvements d'urines, de selles ou de mucus nasal. Il faut préciser que l'analyse des prélèvements nasaux n'a pas vocation à être utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit essentiellement d'une méthode de dépistage. Des analyses à partir d'échantillons sanguins,

salivaires ou de phanères peuvent également être réalisées.



d'après © Olivier Seignette/Mikaël Lafontan/IRSN

**Figure 2 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie  $\gamma$  dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques**

Les émetteurs  $\alpha$  peuvent être détectés par comptage  $\alpha$  global ou par spectrométrie  $\alpha$ . Le comptage  $\alpha$  réalisé à l'aide de compteurs proportionnels à gaz ou de détecteurs à scintillation (ZnS) permet de déterminer rapidement le niveau d'activité, dans le contexte d'un incident par exemple. Seule la spectrométrie  $\alpha$  permet de réaliser une analyse isotopique de l'échantillon, à l'aide d'un détecteur composé d'une diode en silicium ou d'un compteur à gaz. Pour cela, l'échantillon d'excréta subit préalablement un traitement radiochimique comprenant la minéralisation de l'échantillon, une purification chimique (chromatographie de partage ou résine anionique) et une fabrication des sources en couche mince, indispensable pour minimiser l'atténuation énergétique des particules  $\alpha$  que l'on cherche à détecter. Certains laboratoires utilisent également des méthodes non radiométriques (techniques de mesures pondérales ou spectrométrie de masse pour la mesure de l'uranium notamment) qui sont des méthodes rapides permettant un tri en cas d'incident ou de suspicion de contamination.

Les émetteurs  $\beta$  sont principalement mesurés par scintillation liquide. Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon à analyser avec un liquide scintillant. L'émission des particules  $\beta$  provoque l'excitation de certains atomes du milieu scintillant. Lors de leur retour à l'état fondamental, ces atomes émettent des photons qui

peuvent être détectés. Suivant le radionucléide considéré, cette méthode est mise en œuvre directement ou à la suite d'une précipitation chimique sélective. Les émetteurs  $\beta$  peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après une étape préalable de séparation chimique du radionucléide.

Les émetteurs  $X$  et  $\gamma$  sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le

même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

Les méthodes d'analyses radiotoxicologiques sont sensibles à la fois aux performances des détecteurs utilisés, directement dépendantes de leur étalonnage, et aux procédés chimiques employés dans les étapes de séparation et de purification des radionucléides.

### L'estimation de la dose interne

Afin de vérifier la conformité des résultats de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs avec la réglementation, les mesures anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques doivent être interprétées en termes de dose engagée, à l'aide de modèles systémiques, spécifiques à chaque élément, publiés par la CIPR (publications 30, 56, 67, 69, etc.) et de modèles décrivant la biocinétique des radionucléides et la propagation des rayonnements dans les tissus. Des modèles biocinétiques correspondant aux deux voies d'incorporation les plus fréquentes ont été publiés par la CIPR : le modèle des voies respiratoires pour l'incorporation par inhalation (publication 66) et le modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

1. l'estimation de l'activité incorporée  $I$  (Bq) :  $I = M/m(t)$

où  $M$  est la valeur d'activité (Bq) mesurée  $t$  jours après la contamination et  $m(t)$  la valeur de la fonction  $m$  de rétention ou d'excrétion à la date de la mesure

2. le calcul de la dose engagée  $E$  (Sv) :

$$E = I \cdot \varepsilon$$

où  $I$  est l'activité incorporée (Bq) et  $\varepsilon$  le coefficient de dose par unité d'incorporation (Sv/Bq),

tel que précisé dans le code de la santé publique (arrêté du 1<sup>er</sup> septembre 2003).

L'estimation dosimétrique est un exercice rendu complexe par le fait que tous les paramètres nécessaires à sa réalisation ne sont pas connus de façon précise. C'est en particulier le cas des caractéristiques temporelles de l'incorporation. Dans le cadre de la surveillance spéciale, le moment de l'incorporation n'est pas toujours déterminé. Dans le cadre de la surveillance de routine, la CIPR recommande de supposer que l'incorporation a lieu au milieu de l'intervalle de surveillance, qui peut être de plusieurs mois. D'autres paramètres peuvent être connus avec des incertitudes, en particulier les caractéristiques physico-chimiques du contaminant, qui sont représentées par défaut par des valeurs de référence : type d'absorption F/M/S/V pour l'inhalation, facteur de transfert gastro-intestinal  $f_1$  de 0 à 1 et diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 1 ou de 5  $\mu\text{m}$ . *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter le modèle dosimétrique à la situation d'exposition spécifique. La présence à l'état de trace d'un radionucléide conduit le plus souvent à une dose très faible (une fraction de mSv).

### Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne

La limite de détection (LD) est la plus petite valeur détectable avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites par la méthode de mesure. La LD est l'un des critères de performance des mesures radiotoxicologiques et

anthroporadiométriques. Le tableau 3 présente les limites de détection atteintes par ces méthodes dans les laboratoires français en 2012, pour un certain nombre de radionucléides caractéristiques. Ces données sont issues des portées d'accré-

dition de ces laboratoires par le COFRAC et des recommandations de bonne pratique (Cf. focus p 18) publiées par la Société Française de Médecine du Travail [2]. Il apparaît que pour un examen donné, les LD diffèrent parfois de plusieurs ordres de grandeur d'un laboratoire à l'autre. Ceci s'explique par le fait que la LD dépend de nombreux paramètres, parmi lesquels la durée de la mesure (suivant le programme de surveillance, la durée de la mesure peut être augmentée pour

atteindre une LD plus basse), le type et les performances intrinsèques du ou des détecteurs utilisés : efficacité, résolution, bruit de fond, ainsi que la géométrie servant à l'étalonnage de ces détecteurs. Les programmes de surveillance et les protocoles de mesures ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires, même si des initiatives sont en cours.

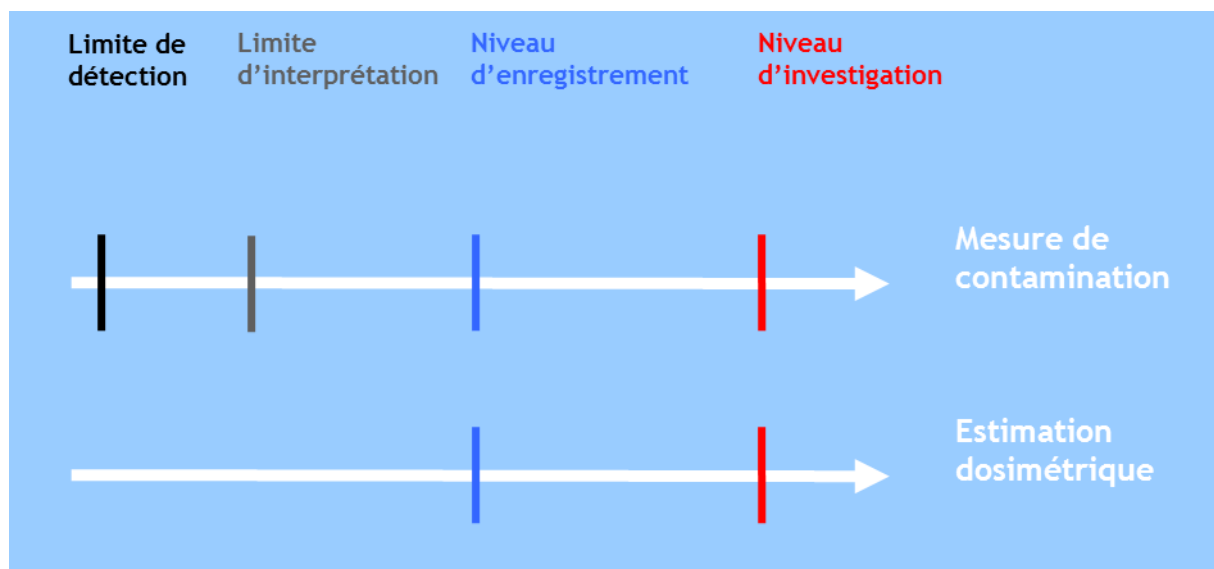


Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

Pour certains examens, ou pour répondre à des situations particulières, le laboratoire peut rendre un résultat à partir d'une limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, qui est supérieure à la LD, au-delà de laquelle l'analyse ou l'examen est considéré positif. A titre d'exemple, la limite de détection pour l'analyse de l'uranium dans les selles est inférieure à 0,01 Bq par prélèvement pour l'ensemble des laboratoires réalisant cette analyse. Cependant, un de ces laboratoires indique une limite d'interprétation opérationnelle égale à 0,07 Bq par prélèvement, de façon à s'affranchir d'une mesure d'uranium d'origine naturelle (présence dans la chaîne alimentaire), non pertinente dans le cadre de la surveillance des travailleurs exposés. Il faut préciser que la limite d'interprétation opérationnelle n'est pas définie dans la norme ISO 20553 [1]. Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, sont précisés les nombres d'examens considérés comme positifs, c'est-à-dire ceux dont le résultat est

supérieur à la limite d'interprétation ou, à défaut, supérieur à la LD. Dans le cas où la mesure dépasse la LD (ou le cas échéant, la limite d'interprétation), le médecin du travail a la responsabilité de réaliser ou non une estimation dosimétrique. Deux niveaux de référence sont définis par la norme ISO 20553 [1] comme étant les valeurs des quantités au-dessus desquelles une action particulière doit être engagée ou une décision doit être prise : le niveau d'enregistrement et le niveau d'investigation.

Le niveau d'enregistrement est le niveau de dose, d'exposition ou d'incorporation (déterminé par l'employeur ou par une autorité compétente) à partir duquel les valeurs doivent être consignées dans le dossier médical. La valeur de ce niveau ne doit pas dépasser 5% des limites annuelles de dose (pour une période de surveillance donnée), soit 1 mSv. C'est le niveau de référence qui a été considéré dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport.

Le niveau d'investigation est le niveau de dose, d'exposition ou d'incorporation (déterminé par l'employeur ou par une autorité compétente) à partir duquel l'estimation dosimétrique doit être

confirmée par des investigations additionnelles. La valeur de ce niveau ne doit pas dépasser 30% des limites annuelles de dose, soit actuellement 6 mSv.

**Tableau 3 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2012**

Type d'examen	Type de rayonnements	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Radiotoxicologie des prélèvements nasaux	$\alpha$ $\beta$ $\gamma/X$		de 0,1 à 0,11 Bq(*) de 0,02 à 4 Bq(*) 37 Bq(*)
Radiotoxicologie des selles	$\alpha$ $\gamma/X$	actinides $^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{110}\text{Ag}$	de 0,0002 à 0,002 Bq(*) 1 Bq(*)
Radiotoxicologie des urines	$\alpha$	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium)	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,002 Bq
	$\beta$	$^3\text{H}$ $^{14}\text{C}$ $^{32}\text{P}$ $^{35}\text{S}$ $^{36}\text{Cl}$ $^{90}\text{Sr}$ $\beta$ totaux	de 15 à 1 850 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 3,5 à 15 Bq/L de 4,5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,6 Bq/L
	$\gamma/X$	tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	$\gamma/X$	$^{137}\text{Cs}$ $^{60}\text{Co}$	de 50 Bq à 300 Bq de 50 Bq à 300 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	$\gamma/X$	$^{241}\text{Am}$ $^{235}\text{U}$ $^{239}\text{Pu}$	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 14 Bq 1 000 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	$\gamma/X$	$^{131}\text{I}$ $^{125}\text{I}$	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

(\*) il s'agit de Bq par échantillon ou prélèvement

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

En France, le Système d'Information et d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens (SIEVERT, [www.sievert-system.org](http://www.sievert-system.org)), développé conjointement par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), l'Observatoire de Paris, l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV) et l'IRSN, est mis à la disposition des compagnies aériennes pour le calcul des doses de rayonnement cosmique reçues par les personnels navigants lors des vols en fonction des routes empruntées, conformément à la réglementation. Les doses sont

évaluées, en fonction des caractéristiques du vol. Des modèles numériques cartographient des débits de dose de rayonnements cosmiques jusqu'à une altitude de 80 000 pieds. Au cœur de SIEVERT, l'espace aérien est découpé en zones d'altitude, de longitude et de latitude, formant une cartographie de 265 000 mailles. A partir des modèles numériques, il est possible d'affecter une valeur de débit de dose à chaque maille. La cartographie des débits de dose est mise à jour tous les mois en tenant compte de l'activité solaire qui varie selon un cycle d'environ 11 ans.

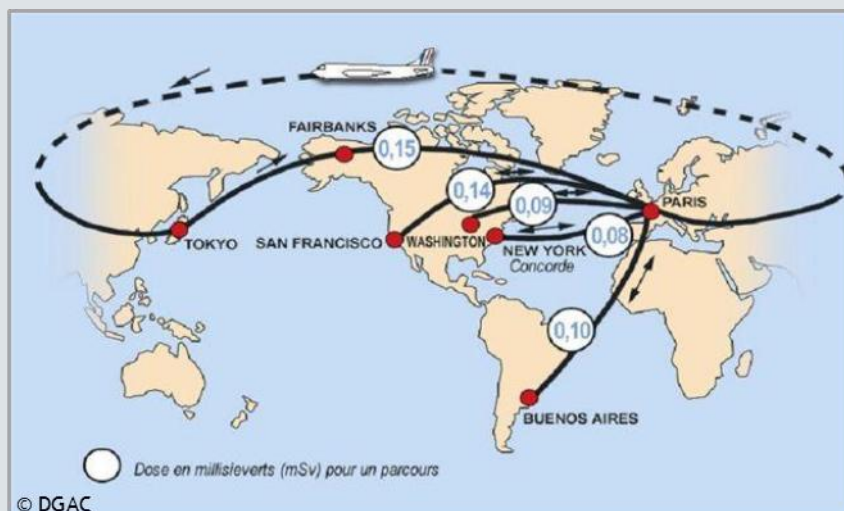
Le système SIEVERT est opérationnel depuis 2001. L'IRSN propose aux compagnies une gestion automatisée reposant sur un fichier récapitulatif des données de tous les vols de la période de suivi. A partir des caractéristiques d'un vol, le calculateur de SIEVERT évalue le temps passé par l'avion dans chaque maille et, en cumulant les doses élémentaires des mailles successives, en déduit la dose reçue au cours de ce vol. La valeur de la dose est plus précise lorsque le fichier du vol communiqué par l'entreprise comporte des points

de passage avec pour coordonnées la latitude, la longitude, l'altitude et le temps relatif de passage en ces points, qui permettent de définir précisément la trajectoire d'un vol. Si ce n'est pas le cas, la dose est évaluée à partir d'un profil générique de vol. A ce stade, les données dosimétriques ne sont pas nominatives. Il appartient ensuite à l'employeur de cumuler les doses calculées pour les différents vols effectués au cours d'une année par chaque personnel navigant et de les transmettre au système SISERI.

## FOCUS

### Exposition des personnels navigants aux rayonnements ionisants

La terre reçoit en permanence des particules, provenant des explosions de supernova de notre galaxie ou d'éruptions solaires, qui constituent le rayonnement cosmique. L'exposition à ce rayonnement croît avec l'altitude car l'atmosphère en absorbe une partie. Sont donc principalement concernés les spationautes ainsi que les personnes utilisant fréquemment les moyens de transports aériens, notamment les personnels navigants. L'exposition varie également avec l'itinéraire emprunté par l'avion, car elle est plus forte aux pôles qu'à l'équateur. Voici à titre d'exemple les doses en millisieverts (mSv) reçues pour les parcours suivants :



L'exposition au rayonnement cosmique présente un caractère inéluctable et se prête difficilement à des mesures d'optimisation comme l'ajout de protections de type blindage. En revanche, elle est facilement prévisible et donc limitable. Les bilans réalisés ces dernières années ont établi que le personnel navigant reçoit une dose annuelle individuelle moyenne de l'ordre de 2 mSv, la dose maximale étant de l'ordre de 5 mSv. Ces valeurs sont proches de celles observées dans d'autres pays européens tels que l'Allemagne ou les Pays-Bas.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

L'exposition externe est suivie au moyen de la dosimétrie passive. Aux laboratoires agréés cités p 15 s'ajoute la société ALGADE qui est agréée pour la surveillance individuelle au moyen de dosimètres TLD (seuil d'enregistrement de 0,1 mSv) de l'exposition externe des travailleurs exposés aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium.

L'exposition résultant de l'inhalation des radionucléides naturels en suspension dans l'air (descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et/ou émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium), est suivie au moyen d'un dosimètre spécifique adapté pour une

mesure intégrée sur la période d'exposition. Le dosimètre mesure l'énergie  $\alpha$  potentielle des descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et/ou l'activité incorporée par inhalation des émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium. La dose est estimée en appliquant les facteurs de conversion mentionnés dans l'annexe III de l'arrêté du 1<sup>er</sup> septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Actuellement, seule la société ALGADE est agréée pour la surveillance de ces expositions, réalisée au moyen du dosimètre alpha individuel.

## CENTRALISATION DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI

Le système SISERI, dont la gestion a été réglementairement confiée à l'IRSN, a été mis en service en 2005. Il centralise, consolide et conserve l'ensemble des résultats de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs afin de constituer le registre national d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. Les informations dosimétriques individuelles enregistrées dans SISERI sont mises à disposition des médecins du travail et des personnes compétentes en radioprotection (PCR) via Internet ([www.irsn.fr/siseri](http://www.irsn.fr/siseri)) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs (figure 4). Ces données ont aussi vocation à être exploitées à des fins statistiques et épidémiologiques.

Depuis fin 2010, SISERI est en capacité de recevoir l'ensemble des données de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, à savoir les résultats de :

- la dosimétrie externe passive (corps entier, peau, extrémités, cristallin), transmis par les organismes de dosimétrie ;

- la surveillance de l'exposition interne, à savoir les résultats d'analyses radiotoxicologiques et d'exams anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires de Biologie Médicale (LBM) ou les Services de Santé au Travail (SST), et, lorsque les circonstances le nécessitent et le permettent, les doses internes calculées par les médecins du travail ;

- la surveillance de l'exposition résultant de l'inhalation des descendants à vie courte des isotopes du radon et/ou des émetteurs à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium, transmis par l'organisme agréé ;

- la dosimétrie des personnels navigants, transmis par les compagnies aériennes ;

- la dosimétrie externe opérationnelle, envoyés directement par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements devant mettre en place ce type de surveillance du fait du classement de certains de leurs locaux en « zones contrôlées ».



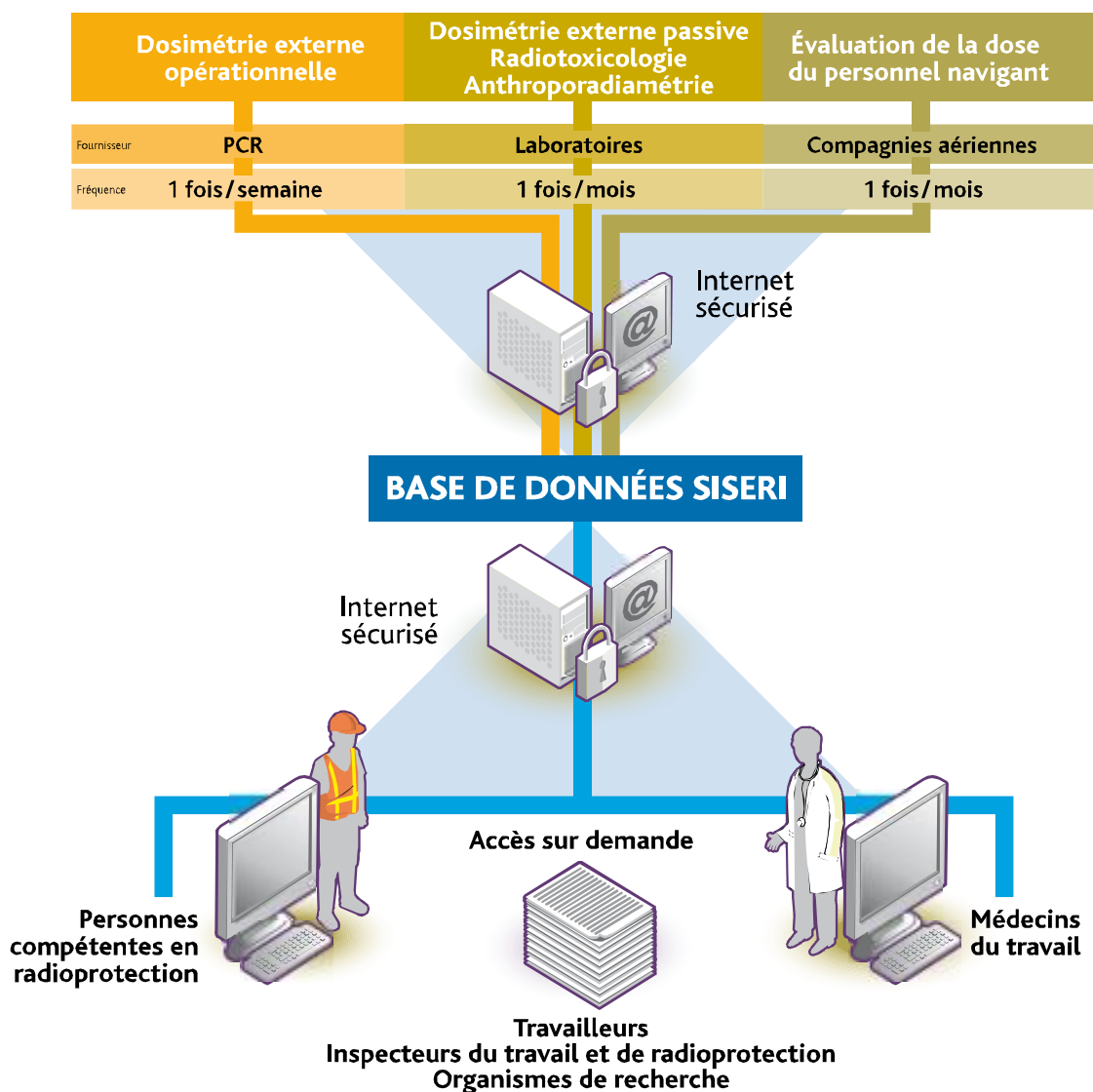


Figure 4 - Le système SISERI

### La transmission des données à SISERI en 2012

De la transmission des données par les différents fournisseurs et de leur correcte intégration dans SISERI, dépend la disponibilité en consultation par les PCR et les MDT. Si l'IRSN n'a pas les moyens de vérifier l'exhaustivité des données transmises par les différents fournisseurs de données, il peut vérifier la qualité des données envoyées et doit veiller à leur intégration dans la base de données afin de les rendre consultables le plus rapidement possible. Pour l'année 2012, les constats suivants ont pu être faits pour chaque type de données.

#### Dosimétrie externe passive

Les délais de transmission des données par les organismes agréés et le laboratoire de dosimétrie

de l'IRSN (réglementairement fixés à un mois après la fin de la période de port selon l'arrêté du 30 décembre 2004) ont été globalement respectés. La qualité des données transmises (identifiants, N° RNIPP...) s'améliore toujours puisque 94% d'entre elles ont été intégrées sans qu'aucune intervention des gestionnaires de la base de données ne soit nécessaire. Néanmoins, cet effort n'est pas aussi marqué pour tous les organismes de dosimétrie et il doit être poursuivi. En effet, un traitement *a posteriori* par des opérateurs de l'IRSN est nécessaire pour résoudre les difficultés d'intégration, ce qui rajoute une charge de travail pour l'IRSN et ralentit la mise à disposition des données en consultation. L'ensemble des données de dosimétrie externe passive transmises pour

l'année 2012 ont été consultables dans le mois suivant leur réception, y compris les données nécessitant une intervention de l'IRSN. Le nombre des données reçues au titre de la surveillance 2012 s'élève à 2,2 millions.

### **Résultats de la surveillance de l'exposition**

#### **interne**

L'envoi des résultats est devenu effectif pour la plupart des laboratoires au cours de l'année 2010. Depuis 2011, l'ensemble des organismes agréés transmet régulièrement des fichiers à SISERI, avec un volume de données de plus de 290 000 valeurs pour l'année 2012. Les délais de transmission sont encore un peu erratiques pour certains organismes et des efforts doivent être faits pour régulariser la fréquence des envois. Toutefois, il faut encore souligner qu'en 2012, restait à régler le problème d'un laboratoire qui n'était toujours pas agréé et dont les résultats n'ont pas été transmis. Ceci est en cours de résolution.

#### **Dosimétrie du radon et/ou des radionucléides émetteurs à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium**

Le système SISERI est en capacité de recevoir ces données depuis fin 2010. En 2012, environ 8 000 résultats ont été envoyés par le laboratoire agréé pour ce type de surveillance.

#### **Dosimétrie des personnels navigants**

En 2012, cinq compagnies aériennes ont envoyé les résultats de la dosimétrie des personnels navigants

### ***La consultation des données de SISERI en 2012***

Seules les PCR et MDT travaillant pour le compte d'un employeur qui en a fait la demande, en signant le protocole d'accès à SISERI, peuvent accéder aux résultats de la dosimétrie des travailleurs dont ils ont la charge, dans le strict respect des conditions de consultation fixées par la réglementation. Le nombre de PCR et de MDT ayant une clé d'accès au système est en constante progression depuis le 15 février 2005 (figure 5). A la fin de l'année 2012, 2 960 MDT et 5 595 PCR

à l'IRSN pour intégration dans SISERI, ce qui correspond à près de 200 000 valeurs. Pour l'une des compagnies, seules les données du premier semestre 2012 ont été transmises.

#### **Dosimétrie externe opérationnelle**

Le nombre d'établissements ayant signé un protocole avec SISERI pour donner accès à leur(s) PCR et/ou MDT s'élevait à 9 108 fin 2012, soit une augmentation de l'ordre de 20% par rapport au nombre de protocoles signés fin 2011. Sur l'ensemble de l'année 2012, 1 023 établissements ont effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle, soit 9% de plus qu'en 2011. Plus de 70% de ces établissements appartiennent au domaine des activités médicales et vétérinaires, 14% à l'industrie non nucléaire, 7% à celui de l'industrie nucléaire et 2% au domaine de la recherche. Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à plus de 2 500 par mois. La qualité des données est relativement bonne en ce qui concerne les identifiants des travailleurs ; en revanche, assez peu d'attention est portée par les fournisseurs sur les doublons de données. En effet, de nombreuses valeurs sont envoyées plusieurs fois. Détectées par le système, elles ne sont heureusement pas intégrées dans la base mais elles nécessitent une intervention des gestionnaires de l'IRSN.

Au total 9,8 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2012. Parmi ces données, 44% proviennent des entreprises du nucléaire, 38% du domaine médical et vétérinaire, 7% de l'industrie non nucléaire et 3% du domaine de la recherche.

avaient accès à SISERI, soit une augmentation par rapport à 2011 respectivement de 11% et de 14%. Les PCR pouvant accéder à SISERI se répartissaient entre le domaine médical pour 59%, le nucléaire pour 15%, l'industrie non nucléaire pour 14% et la recherche pour 4%. Cette répartition confirme la part majoritaire du domaine médical, dont la progression avait été observée les années précédentes.

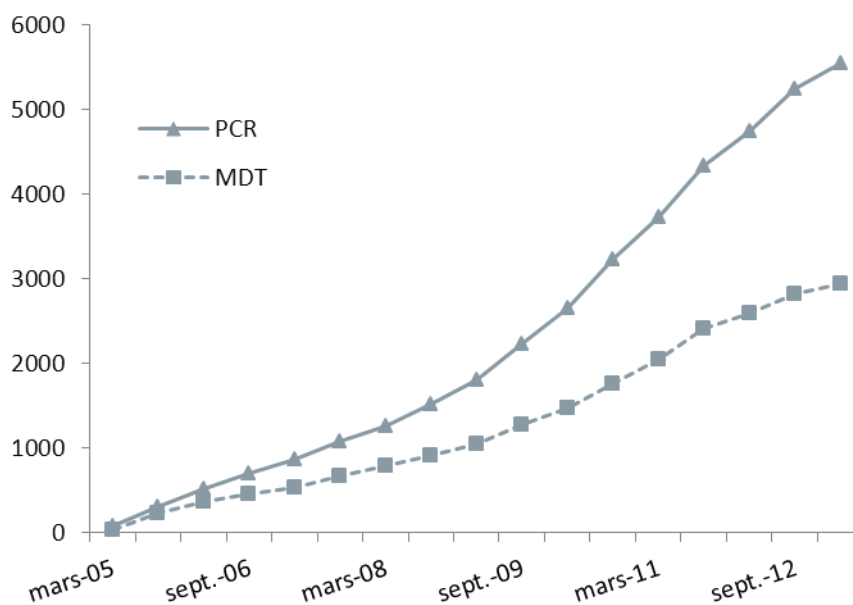


Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

### Evolutions de SISERI

Le système SISERI est depuis 2 ans entré dans une phase de fonctionnement « de croisière » au regard des obligations de centralisation, de consolidation et de conservation des données dosimétriques. Néanmoins, dès 2009, l'IRSN ayant alerté les autorités sur les difficultés rencontrées dans la gestion du système et sur ses lacunes concernant les informations nécessaires pour son exploitation à des fins statistiques, ces différents points ont été abordés au travers de 3 actions importantes : l'établissement d'une nomenclature des activités et des métiers partagée au niveau national par tous les acteurs de la surveillance dosimétrique des travailleurs, la révision de l'arrêté du 30 décembre 2004 et une réflexion nationale sur les évolutions souhaitables de SISERI à moyen et long terme, dans la perspective des évolutions réglementaires internationales et nationales.

Les évolutions de l'arrêté du 30 décembre 2004 (Cf. focus p 13) devraient apporter les aménagements réglementaires garantissant la pleine efficacité du dispositif de suivi de l'exposition des travailleurs en consolidant le rôle de SISERI. Le

renforcement des contraintes sur les délais et fréquences de transmission devrait permettre de rendre les données plus rapidement consultables. Toutefois l'évolution majeure viendra de l'obligation qui sera faite à chaque employeur de déclarer « préalablement à son exposition aux rayonnements ionisants » tout travailleur dans SISERI et de renseigner un certain nombre de données administratives le concernant. Ceci permettra à terme de résoudre les problèmes de cohérence entre les différents identifiants parfois envoyés par les différents fournisseurs de résultats dosimétrique à SISERI pour un même travailleur. Cette nouvelle disposition permettra également de renseigner dans SISERI, de façon fiable, des informations telles que le secteur d'activité dans lequel exerce le travailleur, le métier du travailleur, son statut d'emploi... Enrichi de ces informations, le registre national pourra alors permettre d'établir des statistiques fines de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants ainsi que des éléments quantitatifs précis permettant d'alimenter de nombreuses études et en particulier des études épidémiologiques.

## Les évolutions souhaitables de SISERI dans les années futures

Fin 2011, à la demande conjointe de la DGT et de l'ASN, l'IRSN a dressé un état des lieux du fonctionnement de SISERI servant de base à une réflexion sur les évolutions souhaitables de cet outil, dans les années futures, en prenant en considération le retour d'expérience de six années de fonctionnement, les besoins des parties prenantes ainsi que les exigences d'harmonisation au niveau européen. A l'issue d'une réflexion impliquant des représentants des personnes compétentes en radioprotection et des médecins du travail, des représentants des employeurs et des travailleurs, l'ASN et la DGT ainsi que des inspecteurs du travail et de la radioprotection, l'IRSN a présenté ses conclusions devant les groupes permanents d'experts en radioprotection de l'ASN, GPRAD et GP MED, début 2012. Le rapport de l'IRSN a permis aux groupes permanents d'experts de rédiger un avis circonstancié sur la base duquel l'ASN et la DGT ont conjointement pris leur position. La synthèse du rapport IRSN, l'avis des groupes permanents d'experts et la position conjointe de l'ASN et de la DGT sont consultables sur les sites internet de l'ASN et de l'IRSN.

## MOYENS ET ACTIONS DE L'IRSN EN LIEN AVEC LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

### ACTIONS DE L'IRSN DANS LE CADRE DE L'AGREMENT DES ORGANISMES

Les dispositions réglementaires du code du travail prévoient que les mesures de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants soient assurées par les laboratoires de l'IRSN, des services de santé au travail accrédités (uniquement pour les examens anthroporadiométriques) ou par des organismes agréés par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Deux missions importantes sont confiées à l'IRSN dans le processus d'agrément des laboratoires de surveillance dosimétrique conformément à l'arrêté du 21 décembre 2007 modifiant l'arrêté du 6 décembre 2003 relatif aux conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants :

- émettre un avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie de ces organismes pour la surveillance individuelle des travailleurs. Les techniques de dosimétrie doivent par ailleurs être accréditées par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC) ou par tout autre organisme équivalent ;

- organiser des intercomparaisons entre ces organismes pour vérifier la qualité des mesures au cours du temps. Ces résultats constituent l'un des éléments sur lesquels s'appuie l'IRSN pour élaborer ses avis. Les résultats d'intercomparaison permettent aussi aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles d'analyse.

Ce processus permet *in fine* à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) de se prononcer sur les demandes d'agrément des laboratoires et contribue à garantir la qualité des mesures réalisées par ces organismes.

Au cours de l'année 2012, l'IRSN a été amené à donner à la DGT un avis sur un projet de révision de l'arrêté du 6 décembre 2003 relatif aux conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. Le nouveau texte devrait être publié courant 2013.

### *Avis de l'IRSN sur l'adéquation des techniques de dosimétrie avec la surveillance individuelle des travailleurs*

Au cours de l'année 2012, l'IRSN a rendu des avis sur l'adéquation des matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs pour le compte de 3 laboratoires de dosimétrie externe et 2 laboratoires de biologie médicale. Tous ces organismes qui étaient déjà agréés depuis plusieurs années ont vu leur agrément renouvelé par décision de l'ASN.

La liste des organismes agréés par l'ASN, incluant le lien vers les portées d'agrément correspondantes, est disponible sur le site Internet de SISERI.

### *Intercomparaison de dosimétrie passive*

Conformément aux dispositions de la réglementation, l'IRSN organise au moins tous les 3 ans une intercomparaison dans le but de vérifier la qualité des mesures de dose réalisées par les organismes agréés. Dans ce contexte, l'IRSN a organisé la cinquième intercomparaison réglementaire de dosimètres individuels passifs, qui s'est déroulée entre la fin de l'année 2012 et le début de l'année 2013. Elle a concerné 9 laboratoires. L'intercomparaison consiste à irradier les dosimètres des laboratoires participant à des doses de référence, inconnues de ces derniers, et à en comparer les résultats obtenus aux valeurs attendues. Grâce aux installations de référence de l'institut situées à Fontenay-aux-Roses et à Cadarache, ce sont plus de 600 dosimètres qui ont

été testés à des rayonnements photoniques et neutroniques représentatifs des champs de rayonnements auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés.

Les tolérances considérées pour l'analyse des résultats sont issues des normes internationales :

- la norme CEI 62387-1 [3] : de - 29% à +67% de la dose de référence pour les dosimètres photon et bêta (poitrine et extrémités) ;
- la norme ISO 21909 [4] :  $\pm 50\%$  pour les dosimètres neutrons (poitrine et extrémités).

A la date de publication de ce rapport, la synthèse des résultats de cette intercomparaison n'était pas encore établie.

### *Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques*

L'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2012, cette intercomparaison a concerné 11 laboratoires et les radionucléides mesurés étaient les suivants : P-32, S-35, Ca-45, Y-88, Sr-90, Sb-125, I-129.

Chaque laboratoire a la possibilité de situer ses résultats par rapport :

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon ;

- à la plage [-25% à +50%] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 12790-1 [5] ;

- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

95% des résultats des mesures réalisées par les participants en 2011 étaient dans les bornes de tolérance rappelées ci-dessus.

### *Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques*

L'IRSN a organisé une nouvelle campagne d'intercomparaison des mesures anthroporadiométriques corps entier, qui ont s'est déroulée entre janvier et novembre 2012.

Cette intercomparaison a concerné 40 installations réparties entre 18 laboratoires et/ou exploitants français et 6 laboratoires étrangers.

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe « IGOR » (figure 6). Pour cette intercomparaison, trois morphologies ont été

utilisées : 50, 70 et 90 kg. La participation à l'intercomparaison était obligatoire pour la morphologie 70 kg tandis qu'elle était laissée au libre choix des participants pour les deux autres morphologies. Les radionucléides à mesurer étaient l'Am-241 et l'Eu-152.

Une tendance à la surestimation des mesures est observée pour une majorité des installations participantes dans la configuration avec la morphologie 50 kg. Pour les morphologies 70 et 90 kg, les mesures des installations participantes sont proches de la valeur cible. Les seules non-conformités constatées, selon les critères de performance définis par la norme NF ISO 12790-1, concernent une installation, pour la morphologie de mesure 50 kg (fantôme P3) et sur les deux radionucléides Eu-152 et Am-241. En revanche, aucune non-conformité n'est relevée sur les

morphologies 70 et 90 kg pour ces deux radionucléides.

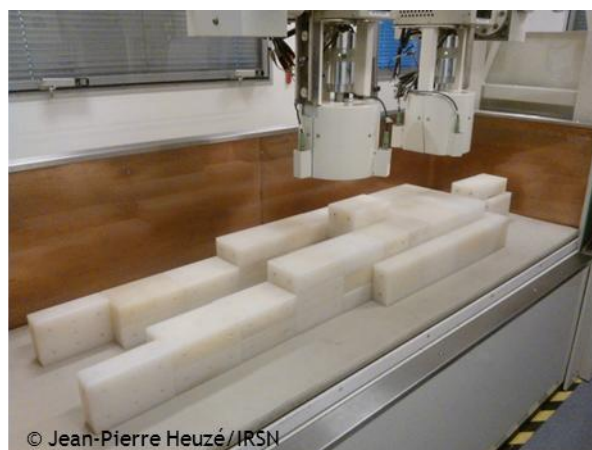


Figure 6 - Fantôme anthropomorphe IGOR

## SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

### *Recensement et analyse (base ERIA)*

De par sa position d'expert technique dans le domaine de la radioprotection et de sa mission de participation à la veille permanente en radioprotection, l'IRSN collecte et analyse les données concernant les événements et incidents de radioprotection (ERP). Leur survenue témoigne en effet du niveau de qualité de la radioprotection dans les différents secteurs utilisant les rayonnements ionisants, en complément d'autres indicateurs tels que les doses individuelles moyennes reçues par les travailleurs, les doses collectives, etc. La connaissance des incidents et l'analyse des circonstances les ayant engendrés sont indispensables pour constituer un retour d'expérience et élaborer des recommandations visant à améliorer la protection des travailleurs.

Les ERP recensés par l'IRSN concernent tous les domaines d'activité mettant en œuvre des

rayonnements ionisants. Il s'agit des événements significatifs déclarés à l'ASN ainsi que d'autres événements dont l'IRSN a connaissance à travers ses différentes activités (par exemple les événements pour lesquels une expertise de l'IRSN est demandée) et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la radioprotection. Leur collecte est très dépendante des circuits d'information utilisés, qui ne sont pas toujours systématisés.

Tous ces événements sont recensés dans une base de données développée à cet effet : la base ERIA (Evénements de Radioprotection, Incidents, Accidents). A la lumière de ces événements, l'IRSN effectue une analyse visant à tirer un retour d'expérience transverse à tous les domaines d'activité.

### *Estimation de la dose interne*

L'Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN) est ponctuellement sollicité par les médecins du travail pour évaluer les doses reçues par les salariés après exposition interne, notamment à la suite d'incident ou d'accident. A partir des résultats individuels des analyses radiotoxicologiques *in vitro* et/ou des mesures

anthroporadiométriques *in vivo*, les doses efficaces engagées sont estimées à l'aide des modèles biocinétiques et dosimétriques publiés par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Les coefficients de dose efficace engagée utilisés sont ceux figurant dans la réglementation française (arrêté du 1er septembre

2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants).

Pour l'année 2012, l'IRSN a réalisé 8 estimations dosimétriques pour des contaminations internes concernant 8 salariés. Les contaminations ont le plus souvent eu lieu dans des services de médecine nucléaire (4 estimations) mais également sur des chantiers de récupération d'anciens objets contenant du radium comme évoqué dans le focus ci-dessous (3 estimations) et lors d'un séjour professionnel en Ukraine (1 estimation). Les radionucléides à l'origine des trois contaminations incidentelles dans les services de médecine nucléaires étaient l' $^{131}\text{I}$  (1 cas survenu lors de la préparation d'une solution) et le  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (2 cas au

moment de l'injection au patient, par projections sur le visage). La contamination survenue dans un service de radiothérapie était due à la manipulation d'un grain d' $^{125}\text{I}$  utilisé pour les besoins de la curiethérapie. Dans tous les cas, les doses évaluées se situaient en dessous de la limite réglementaire applicable aux personnes du public. Le  $^{137}\text{Cs}$  était à l'origine de la contamination mise en évidence après le séjour d'une personne en Ukraine (détection par mesure anthropométrique). Les doses efficaces engagées ont été évaluées rétrospectivement pour deux séjours, l'un en 2009 et l'autre en 2010. L'hypothèse retenue était celle d'une contamination chronique par ingestion. Les doses efficaces engagées ont été évaluées en dessous de la limite réglementaire applicable au public.

## FOCUS

### Un exemple de surveillance de l'exposition interne dans le cadre d'un incident

En octobre 2012, la dispersion d'une fiole contenant du radium-226 a été à l'origine d'un incident impliquant 66 personnes dont 63 travailleurs d'une société dont l'activité ne présentait aucun lien avec l'usage de ce type de source (objet ancien), et qui en ignorait l'existence. Des analyses radiotoxicologiques des selles et des urines ont été prescrites pour tous les travailleurs susceptibles d'avoir été au contact avec ce radioélément. Au final, trois examens ont été interprétés positifs sur l'ensemble des personnes contrôlées. Les doses efficaces engagées évaluées se sont révélées inférieures à la limite réglementaire applicable au public (1 mSv).

## GUIDE PRATIQUE D'AIDE A LA REALISATION DES ETUDES DE POSTE

Un guide pratique d'aide à la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants a été édité par l'IRSN. Fondé sur l'expérience acquise par l'IRSN, il propose aux différents acteurs impliqués dans la radioprotection du personnel, notamment aux chefs d'établissement, aux personnes compétentes en radioprotection et aux médecins du travail, une approche méthodologique leur permettant de réaliser des études dosimétriques de poste de travail.

Une première partie du document présente le contexte réglementaire et les principaux objectifs

associés à l'étude de poste, ainsi qu'un rappel sur les différents modes d'exposition, les grandeurs dosimétriques et les instruments de mesure associés, enfin des méthodes de calcul à mettre en œuvre, ainsi que des renvois vers quelques références utiles.

Dans une deuxième partie, le guide traite du recueil des données dosimétriques nécessaires pour mettre en œuvre le processus d'optimisation de la radioprotection, définir le classement des travailleurs et délimiter les zones de travail.

Enfin, la troisième partie est constituée de fiches déclinant la méthode pour des secteurs d'activité

particuliers. Dans sa dernière édition, le guide comporte trois fiches se rapportant à des activités médicales, consacrées respectivement à la radiologie conventionnelle, à la radiologie interventionnelle et à la médecine nucléaire. Le

document est en libre accès sur le site Internet de l'IRSN :

[http://www.irsn.fr/FR/base\\_de\\_connaissances/librairie/publications\\_professionnels/Pages/guides\\_tech\\_niques.aspx](http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/librairie/publications_professionnels/Pages/guides_tech_niques.aspx)

## METHODOLOGIE SUIVIE POUR ETABLIR LE BILAN ANNUEL DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

---

Comme les années précédentes ([6] à [15]), ce bilan est établi à partir des données de la surveillance individuelle mise en œuvre pour les travailleurs exposés, d'une part celles transmises à

l'IRSN par les différents organismes agréés pour la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs, d'autre part les données extraites du système SISERI.

### BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1er janvier et le 31 décembre 2012 est compté dans l'effectif surveillé par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2012 a été établi à partir des données agrégées de chaque laboratoire de dosimétrie passive : effectifs des travailleurs par secteur d'activité professionnelle, doses collectives (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) correspondantes et répartition des travailleurs par classe de doses. Les données relatives aux activités civiles et de défense ont été regroupées dans chaque secteur des domaines d'activités concernés : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche. Pour chaque domaine est précisée la part concernant les effectifs des activités de la défense suivis par le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA).

Comme l'an passé, le bilan de la surveillance de l'exposition externe aux rayonnements neutroniques des travailleurs d'EDF (secteur des réacteurs de production d'énergie) est obtenu à partir de données de dosimétrie passive extraites de SISERI.

Certaines hypothèses ont été retenues pour agréger les données fournies par les laboratoires avec des caractéristiques différentes (seuils

d'enregistrement des doses, règles d'affectation par secteurs d'activité). Les classes de doses retenues pour le bilan reposent ainsi sur un choix de valeurs représentatives :

- seuil d'enregistrement des doses ;
- 1 mSv/an (limite de dose efficace pour les personnes du public, art. R1333-8 du code de la santé publique) ;
- 6 mSv/an (seuil bas de la catégorie A des travailleurs exposés, art. R4451-44 du code du travail) ;
- 15 mSv/an (historiquement, seuil bas de délimitation de la zone contrôlée) conservée comme valeur intermédiaire ;
- 20 mSv/an (limite sur 12 mois consécutifs de la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne applicable aux travailleurs exposés, art. R4451-12 du Code du travail).

Le bilan réalisé est une « photographie » de la situation au moment de l'envoi des données par chaque laboratoire. Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv sur 12 mois glissants indiqué dans ce rapport pourrait diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou réfutant les doses mesurées.



Certains éléments peuvent avoir une incidence sur le bilan réalisé, par exemple :

- les conditions de port des dosimètres :
  - la période de port des dosimètres : ainsi, des valeurs d'équivalents de dose inférieures au seuil d'enregistrement du dosimètre sur un mois d'exposition sont assimilées à des doses nulles, mais peuvent être positives dans le cas d'une période de port plus importante du fait du cumul des expositions ;
  - le port en lui-même, qui n'est pas toujours conforme aux prescriptions de la réglementation. Les doses réellement reçues par les porteurs sont dans certains cas surestimées, par exemple lorsque le dosimètre est porté sur le tablier de plomb ou lorsqu'il est placé sur le tube émetteur de rayons X. Dans d'autres cas, les doses sont sous-estimées ou même non enregistrées car les dosimètres ne sont pas portés de façon systématique par les travailleurs.
- la classification des travailleurs dans les différents domaines et secteurs d'activité par les

organismes de dosimétrie. En effet, dans un souci d'amélioration de la connaissance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, l'IRSN a amorcé en 2008 l'utilisation d'une nomenclature unique des secteurs d'activité (présentée en annexe), généralisée à partir de 2009. Mais cette application est encore incomplète et parfois trop peu rigoureuse. Depuis 2009, le bilan annuel est établi en tenant compte de la répartition des travailleurs surveillés selon la classification proposée par cette nomenclature. Par souci de cohérence, les secteurs pour lesquels moins de 20 travailleurs sont enregistrés sont regroupés dans la catégorie « Autres » du domaine concerné.

Il est souligné que seul l'établissement du bilan à partir du système SISERI permettra d'obtenir un effectif fiable puisque chaque travailleur ne sera compté qu'une fois, indépendamment du nombre de laboratoires ayant assuré son suivi dosimétrique au cours de l'année. A titre d'exemple, le nombre de travailleurs recensés dans SISERI pour l'année 2012 s'élève à 332 114 travailleurs, chiffre qui est effectivement inférieur à l'effectif total établi à partir des données communiquées par chaque laboratoire (354 665 travailleurs suivis en 2012).

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le bilan statistique présenté dans ce rapport a été établi à partir des données communiquées à l'IRSN par les laboratoires de biologie médicale (LBM) ou les services de santé au travail (SST) en charge de la surveillance de l'exposition interne dans les établissements concernés, sur la base d'un questionnaire ou, pour le LAMR de l'IRSN, d'une extraction des données de SISERI.

Le bilan général détaille successivement les résultats :

- des mesures relatives à la surveillance de routine ;
- des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance spéciale ou de la surveillance de contrôle, notamment à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination ;
- des estimations dosimétriques.

Ces données sont ensuite détaillées par secteur d'activité dans les chapitres dédiés à chaque

domaine d'activité. Les tableaux présentent pour chaque type d'examen : le nombre de travailleurs suivis quand il est connu, le nombre total d'exams réalisés et, parmi ceux-ci, le nombre d'exams considérés comme positifs suivant les seuils considérés par chaque laboratoire (dans la plupart des cas il s'agit de la limite de détection, mais ce peut être parfois une valeur plus élevée). Sont également présentées de façon globale, et ensuite pour chaque domaine, les statistiques concernant le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2012 ainsi que le nombre de travailleurs considérés comme contaminés, c'est-à-dire ceux pour lesquels l'activité mesurée a conduit à une dose efficace annuelle engagée supérieure à 1 mSv, conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) et à la norme ISO 20553 [1] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5% des limites annuelles de dose.

La méthode de collecte décrite ci-dessus présente un certain nombre de limites qui introduisent les incertitudes suivantes dans le bilan, notamment concernant les effectifs surveillés :

- en fonction de leur activité professionnelle, tous les travailleurs surveillés n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2012. C'est pourquoi le nombre d'examens réalisés dans un établissement donné peut être inférieur au nombre de travailleurs considérés comme surveillés dans cet établissement ;
- tous les laboratoires sont en mesure de fournir le nombre total d'examens effectués mais pas toujours le nombre précis de travailleurs que cela concerne (ce qui explique que le nombre de travailleurs suivis peut parfois être supérieur au nombre d'examens réalisés) ;
- chaque examen n'est pas nécessairement exclusif. Pour un suivi optimal de l'exposition interne, il peut être utile de combiner les différents types de mesure : par exemple, lorsqu'une mesure d'iode 131 par anthroporadiométrie au niveau de la thyroïde donne un

résultat positif, il sera généralement effectué à la suite une analyse radiotoxicologique urinaire. La méthode de collecte de données ne permet pas d'éviter des doubles dénombrements de travailleurs suivis, puisque l'effectif est indiqué pour chaque examen, indépendamment du fait qu'un travailleur peut bénéficier d'un autre type d'examen ;

- un travailleur peut avoir bénéficié d'examens anthroporadiométriques dans plusieurs entreprises exploitantes où il est intervenu au cours de la même année. Chaque fois, il est recensé dans le nombre de travailleurs suivis par le laboratoire en charge de l'entreprise.

Il est impossible d'établir précisément le nombre de travailleurs suivis dans le cadre de la surveillance de l'exposition interne. Les nombres de travailleurs qui figurent dans ces tableaux doivent donc être considérés avec une certaine précaution et seuls les nombres d'examens présentés sont fiables.

## BILAN DES EXPOSITIONS AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Le bilan de l'exposition des personnels navigants de l'aviation civile est réalisé à partir d'une extraction de SISERI, sur la base des données transmises au système par les compagnies aériennes. Ces données dosimétriques sont obtenues par le calcul à l'aide de l'outil SIEVERT. Seules les données transmises par quatre compagnies sont incluses dans le bilan 2012, sur les cinq qui transmettent actuellement les données à

SISERI, car la cinquième n'a transmis que les doses reçues au premier semestre 2012.

Le bilan de l'exposition des personnels navigants de la défense est celui établi par le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA) à partir des données de dosimétrie passive.

## BILAN DES EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS AUX MATERIAUX NORM ET AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

Le bilan présenté est celui communiqué à l'IRSN par la société ALGADE, qui dispose d'un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition

(externe et/ou interne) des travailleurs aux radionucléides naturels des chaînes du thorium ou de l'uranium.

# RESULTATS GENERAUX (hors radioactivité naturelle)



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 36
Dosimétrie corps entier	p 36
Dosimétrie des extrémités	p 39
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 41
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 41
Surveillance spéciale	p 43
Estimations dosimétriques	p 43
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 44
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 47

Le bilan qui suit porte sur le suivi par dosimétrie passive des travailleurs dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique et dans les activités de la défense.

Ce chapitre-ci présente les statistiques globales pour l'ensemble des domaines d'activités. Les quatre chapitres suivants détaillent les statistiques pour chaque domaine d'activité : successivement activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, et recherche et enseignement.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe dans les activités civiles soumises à autorisation ou à déclaration et dans les activités de défense est en augmentation de 2,8% par rapport à l'année 2011, alors que la dose collective diminue de 2,9% entre 2011 et 2012. Cela se traduit par une légère baisse de la dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) de 0,88 mSv à 0,85 mSv.

#### *Analyse suivant les activités professionnelles*

Le tableau 4 présente les résultats de la surveillance dosimétrique selon le domaine d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Pour chaque domaine d'activité, les données concernant les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent dans les quatre domaines : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, et recherche et enseignement. Ils représentent 2,6% de l'effectif total suivi, avec une contribution à la dose collective à hauteur de 1,9%.

L'analyse de ces résultats révèle la disparité des expositions en fonction des domaines d'activité. Le domaine des activités médicales et vétérinaires compte près des deux tiers de l'effectif total suivi alors que la dose collective enregistrée pour les travailleurs de ce domaine correspond à moins du

- **354 665** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**62,35** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**0,85** mSv

tiers de la dose collective totale. A l'inverse, les effectifs du domaine nucléaire et de l'industrie non nucléaire représentent respectivement 20% et 10% de l'effectif total suivi, alors que leur contribution à la dose collective totale est respectivement de 40% et 28%. Le domaine de la recherche et de l'enseignement compte 4% de l'effectif total, avec une dose collective associée inférieure à 1% de la dose collective totale.

Ces disparités se retrouvent en termes de doses moyennes calculées sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement dans les différents domaines : dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire, les doses moyennes sont les plus élevées, avec respectivement 1,54 mSv et 1,16 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose moyenne reste inférieure à 1 mSv : elle est respectivement égale à 0,49 mSv et 0,33 mSv.

**Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration**

Domaine d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total (a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	220 638	18,28	0,08	0,49	183 609	33 933	2 819	254	11	12
Nucléaire (c)	70 456	25,01	0,35	1,16	48 918	14 881	5 912	740	4	1
Industrie non nucléaire	34 597	17,52	0,50	1,54	23 240	7 398	3 144	808	6	1
Recherche et enseignement (d)	14 620	0,46	0,03	0,33	13 231	1 343	44	2	0	0
Autres (e)	14 354	1,08	0,08	0,62	12 623	1 494	227	9	1	0
<b>Total</b>	<b>354 665</b>	<b>62,35</b>	<b>0,18</b>	<b>0,85</b>	<b>281 621</b>	<b>59 049</b>	<b>12 146</b>	<b>1 813</b>	<b>22</b>	<b>14</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total surveillé.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif surveillé pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

(c) Le domaine nucléaire inclut également le transport de matières radioactives dans les activités liées à ce domaine.

(d) Le domaine de la recherche et de l'enseignement inclut la recherche médicale, les activités au sein des installations de recherche liées au nucléaire, la recherche (autre que médicale et nucléaire) et l'enseignement.

(e) La catégorie « Autres » regroupe les secteurs d'activité suivants : la gestion des situations de crise, l'inspection et le contrôle, les activités à l'étranger, les activités de transports de sources dont l'utilisation n'est pas précisée ainsi que les activités non classées d'après la nomenclature. Le secteur des activités à l'étranger n'est encore que peu identifié en termes de classification des travailleurs, avec la difficulté supplémentaire dans le cadre du bilan annuel que les activités à l'étranger sont souvent conduites une partie seulement de l'année.

### Contribution des neutrons

En 2012, un suivi de l'exposition aux neutrons a été mis en œuvre pour 49 677 travailleurs (vs. 43 228 travailleurs en 2011), soit 14% de l'effectif total surveillé. La dose collective « neutrons » est de 2,08 homme.Sv (vs. 1,88 homme.Sv en 2011). La dose collective due aux neutrons représente 3,3% de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues).

La répartition par domaine d'activité est proche de celle observée les années précédentes : 63% des

effectifs suivis pour leur exposition aux neutrons appartiennent au domaine nucléaire, et contribuent à la dose collective à hauteur de 92% (figure 7). Les effectifs suivis dans l'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 18% et 9% de l'effectif total, avec des contributions à la dose collective totale respectivement de 4,2% et 1,2%. Le domaine médical représente moins de 8% des effectifs surveillés et 1,7% de la dose collective.

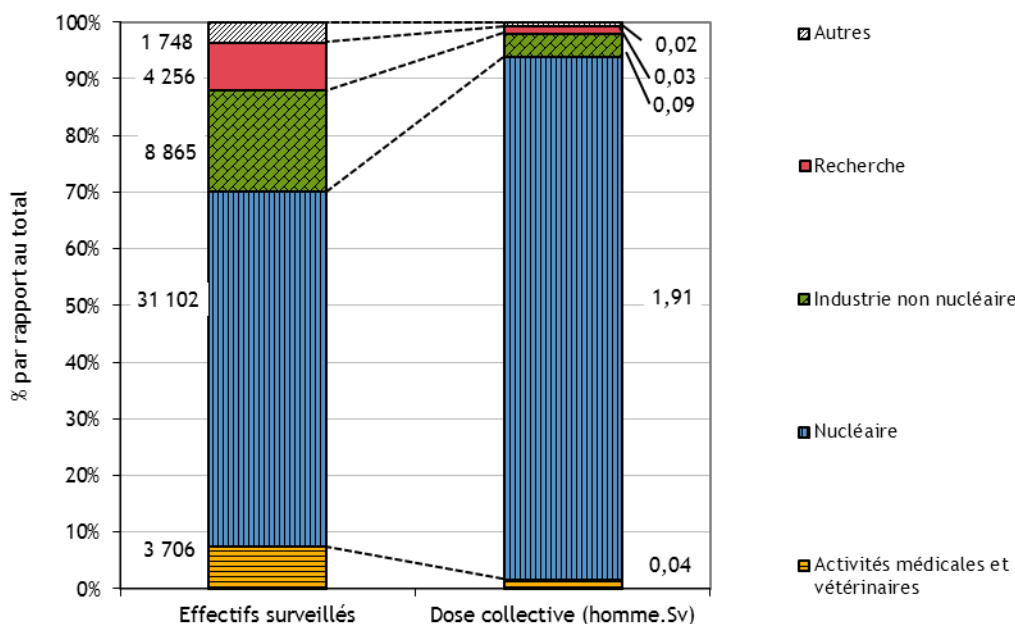


Figure 7 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2012

### Evolution sur la période 1996-2012

#### Exposition externe totale (photons et neutrons)

La figure 8 présente l'évolution des effectifs surveillés et de la dose collective entre 1996 et 2012.

Sur cette période, l'effectif total surveillé est passé de 230 385 à 354 665 travailleurs, soit une augmentation de plus de 50%. Cette évolution est le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants mais également celui d'une plus large surveillance des travailleurs professionnellement exposés, particulièrement dans le domaine médical (figure 17). Dans le même temps, la dose collective a globalement diminué, avec cependant une tendance à l'augmentation entre 2006 et 2009, et

une certaine stagnation ensuite, avec une dose collective moyenne de 63,7 homme.Sv par an sur la période 2009-2012.

L'augmentation des effectifs observée depuis 2008 indique une réelle progression du nombre de travailleurs suivis, et non plus l'intégration progressive des données de tous les laboratoires dans le bilan comme ce fut le cas en 2005 et 2007.

#### Contribution des neutrons

L'augmentation des effectifs suivis et de la dose collective observée depuis 2009 se poursuit en 2012 (figure 9), principalement due aux augmentations observées dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire.

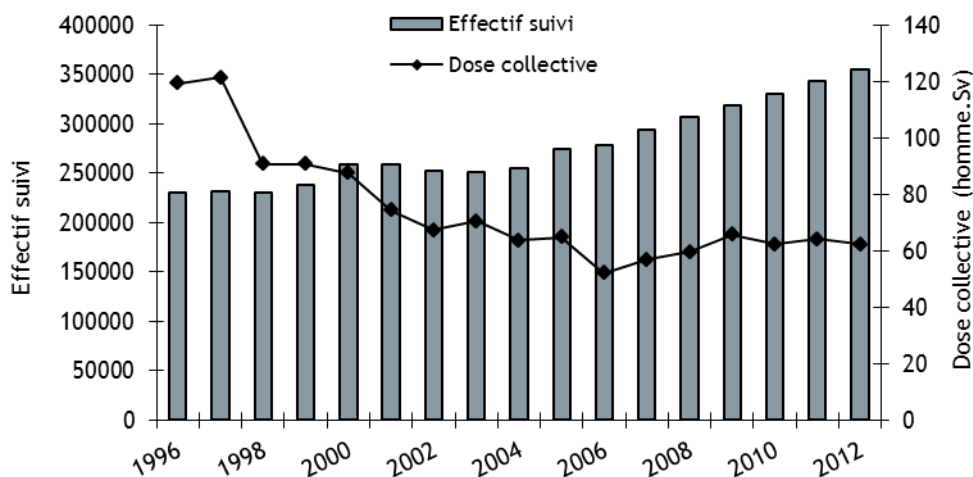


Figure 8 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2012

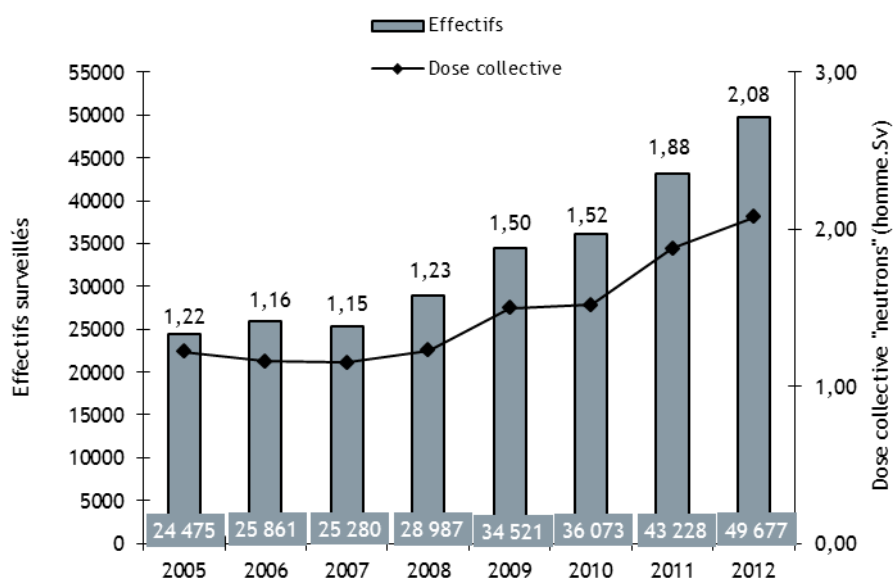


Figure 9 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective pour l'exposition aux neutrons, de 2005 à 2012

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2012, 25 532 travailleurs ont bénéficié d'une surveillance de l'exposition aux extrémités, soit 7% de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée pour ces porteurs est de 123,42 Sv et la dose individuelle annuelle moyenne de 4,8 mSv. Ils

étaient 23 186 travailleurs suivis en 2011, avec une dose totale s'élevant à 143,17 Sv.

La figure 10 illustre la répartition des doses enregistrées aux extrémités en 2012 selon les domaines d'activité. Le domaine des activités médicales et

vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec plus de la moitié des travailleurs suivis et 60% de la dose totale. L'effectif suivi aux extrémités dans le nucléaire représente 27% de l'effectif total suivi pour une contribution à la dose totale de 31%. L'industrie non nucléaire et la recherche comptent respectivement 10 et 7% de l'effectif total suivi et

contribuent à la dose collective à hauteur de 3 et 2%.

La dose maximale est de 600 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical (secteur de la radiologie interventionnelle) et constitue un dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente (500 mSv).

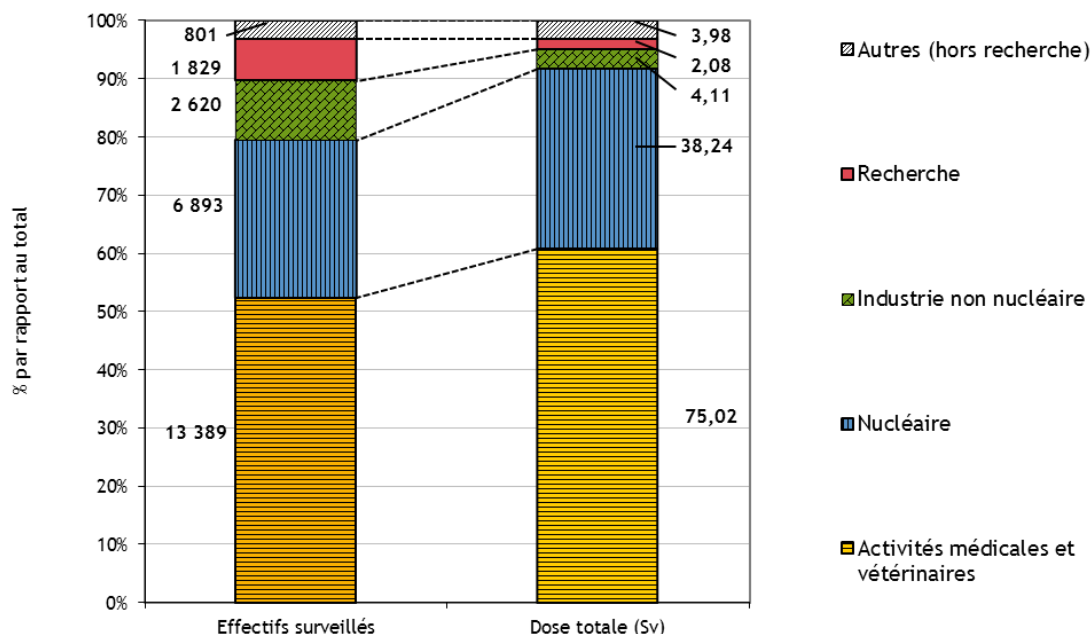


Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées aux extrémités en 2012

En 2012, c'est la première fois que l'effectif surveillé par une dosimétrie par bague dépasse (de peu) l'effectif suivi par dosimétrie au poignet, principalement du fait d'une augmentation du nombre de porteurs dans le domaine des activités médicales et vétérinaires. Ainsi, 52% des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portent un dosimètre bague, soit 13 368 travailleurs.

La répartition entre les deux types de dosimétrie évolue différemment suivant les domaines d'activité (figure 11). Dans le nucléaire, la forte augmentation de la proportion des dosimètres bague observée 2009 ne s'est pas poursuivie et la diminution enregistrée en 2011 s'est confirmée en 2012 (2% de bagues en 2008, 17% en 2009, 21% en 2010, 16% en 2011 et 15% en 2012). La dose totale enregistrée par bague reste très faible au regard

de celle enregistrée au poignet dans ce domaine (figure 10). Concernant les activités médicales et vétérinaires, la progression des bagues se poursuit : 37% en 2008, 50% en 2009, 58% en 2010, 63% en 2011 et 70% en 2012. La proportion des dosimètres bagues dans l'industrie non nucléaire est relativement stable : 57% en 2008, 51% en 2009, 52% en 2010, 55% en 2011 et 56% en 2012. Après une diminution enregistrée ces dernières années, le domaine de la recherche connaît à nouveau depuis 2011 une augmentation de la proportion de bagues : 70% en 2008, 67% en 2009, 44% en 2010, 53% en 2011 et 56% en 2012.

Ces résultats sont cependant à considérer avec une certaine prudence, car fortement dépendants de la qualité de la classification des travailleurs suivant leur activité.



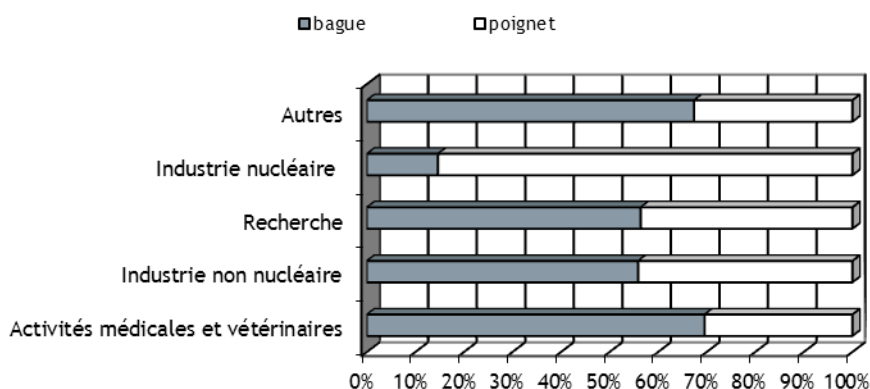


Figure 11 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2012, suivant les domaines d'activité

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le nombre total d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine en 2012, tous types confondus, s'élève à 349 995 (en 2011, ce sont 341 377 examens qui avaient été réalisés), avec une répartition suivant les types d'examens comparable à celle des années précédentes. Les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 209 396 examens réalisés en 2012, suivis par les analyses radiotoxicologiques des prélèvements nasaux et des urines, avec respectivement 87 664 et 44 147 examens pour des effectifs correspondants de 1 828 et 12 148 travailleurs. 5 459 analyses radiotoxicologiques fécales ont également été réalisées.

Le tableau 5 présente la répartition des examens effectués suivant les domaines d'activité. La figure 12 détaille cette répartition suivant les types d'analyse. Il apparaît que les grandes entreprises du nucléaire font appel à l'ensemble des techniques de surveillance, avec une forte prédominance des examens anthroporadiométriques sur les analyses radiotoxicologiques (à noter que parmi les 214 005 examens anthropo-

radiométriques réalisés en 2012, 178 651 l'ont été dans les centrales nucléaires d'EDF). Le suivi des personnels dans les établissements du domaine médical repose essentiellement sur des analyses radiotoxicologiques urinaires. Les personnels du domaine de la recherche bénéficient plus rarement d'une surveillance de l'exposition interne.

Les modalités de surveillance mises en œuvre s'expliquent à la fois par la nature des radionucléides à mesurer dans les différents secteurs, mais aussi par des considérations logistiques. Alors qu'il est relativement simple d'organiser un contrôle anthroporadiométrique au CEA, chez AREVA et chez EDF, dont les différents sites disposent des installations de mesure nécessaires, un tel contrôle des personnels du domaine médical ou de celui de la recherche est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre : en pratique, les personnes doivent se déplacer dans les laboratoires de l'IRSN situés en région parisienne, à moins d'utiliser les moyens mobiles de l'Institut (Cf. p 94).

Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2012

Domaines d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Activités médicales et vétérinaires	13 261	95
Industrie non nucléaire	322	11
Nucléaire	324 583	1 843
Recherche	10 394	3
Autres	1 435	15
<b>Total</b>	<b>349 995</b>	<b>1 967</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

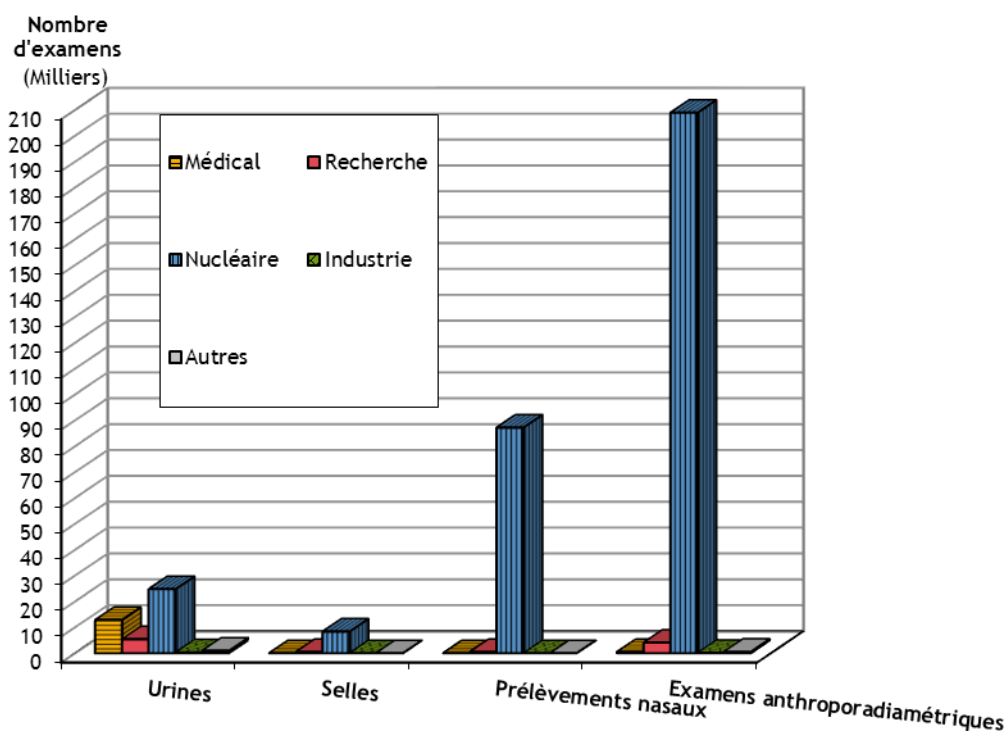


Figure 12 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les différents domaines d'activités en 2012 (surveillance de routine)

## SURVEILLANCE SPECIALE

En 2012, 11 383 examens ont été réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale. Seule une partie d'entre eux ont été réalisés à la suite d'un événement ou d'un incident de radioprotection. Pour 916 des examens, soit 9% de l'ensemble des

examens dans le cadre de cette surveillance, le résultat a été positif. Le tableau 6 présente la répartition de ces examens suivant les domaines d'activité. La grande majorité de ces examens (88%) ont concerné le domaine nucléaire.

**Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2012**

Domaines d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Activités médicales et vétérinaires	106	208	15
Industrie non nucléaire	50	227	60
Nucléaire	5 265	10 151	797
Recherche	262	698	6
Autres	44	99	38
<b>Total</b>	<b>5 727</b>	<b>11 383</b>	<b>916</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2012, 358 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne. Ce sont pour 97% d'entre eux des travailleurs du domaine nucléaire. Tous domaines confondus, 11 cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés. Une dose individuelle de 4 mSv (valeur maximale enregistrée en 2012) a

été estimée pour 3 travailleurs du domaine nucléaire.

La figure 13 présente pour les années 2006 à 2012 le nombre de travailleurs pour lesquels le calcul de la dose efficace engagée a conduit à une valeur supérieure à 1 mSv, et indique également la dose individuelle maximale enregistrée chaque année.

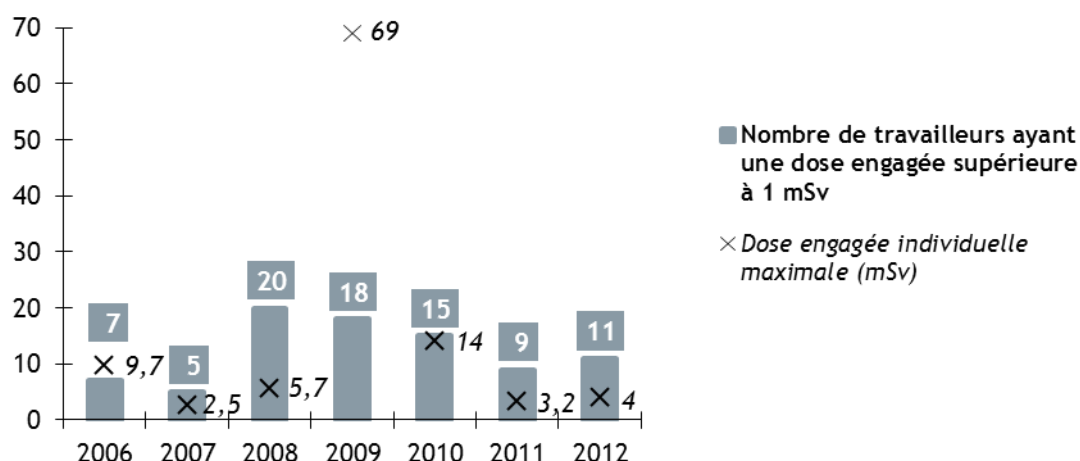


Figure 13 - Evolution, de 2006 à 2012, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

### RETOUR SUR LE BILAN 2011

Le bilan de l'année 2011, établi fin avril 2012, faisait état de 12 cas de dépassements de la limite réglementaire de dose pour la dose efficace en 2011. Depuis la publication fin juin 2012 du rapport présentant le bilan de l'année 2011 [15], 4 cas ont été annulés suite au retour d'enquête du médecin du travail :

- 1 cas annulé dans le domaine de la recherche (dose efficace de 160 mSv) ;

- 3 cas annulés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, dont la dose efficace de 136 mSv (21 mSv en photon + 115 mSv en neutron).

Ceci réduit ainsi à 8 le nombre de cas de dépassements de la limite de 20 mSv pour l'année 2011.

### BILAN 2012

Le bilan établi fin mars 2013 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, entre le 1<sup>er</sup> janvier 2012 et le 31 décembre 2012, pour 15 travailleurs (tableau 7).

Le dépassement de la limite réglementaire de dose efficace est dû à une dose externe supérieure à 20 mSv, reçue soit sur une seule période de port du dosimètre (8 cas), soit par cumul sur plusieurs

périodes de port (les 6 autres cas). Trois travailleurs ont reçu une dose efficace annuelle entre 20 et 25 mSv. Pour cinq autres travailleurs, la dose efficace annuelle est comprise entre 30 et 35 mSv. Deux travailleurs ont reçu une dose comprise entre 45 et 50 mSv et quatre travailleurs ont reçu plus de 50 mSv, leur dose efficace annuelle étant comprise entre 66 mSv et 175 mSv.

Ces dépassements de la limite réglementaire de dose efficace sont observés dans les différents domaines d'activité : 12 travailleurs exercent dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, 1 dans le domaine nucléaire et 1 dans l'industrie non nucléaire.

Un dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités s'est produit par cumul des doses reçues sur 12 mois. Le travailleur concerné par ce dépassement exerce dans le domaine médical (secteur de la radiologie interventionnelle). La dose enregistrée est égale à 600 mSv.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv n'a été enregistré en 2012 concernant la dosimétrie à la peau au niveau de la poitrine.

L'IRSN n'a pas reçu le retour des conclusions d'enquête, qui doit être diligentée par le médecin du travail selon les dispositions réglementaires, pour 9 des 14 cas de dépassements recensés pour 2012. Les investigations de l'IRSN ont montré que pour la plupart de ces cas, il s'agit de travailleurs ayant un suivi dosimétrique mais pour lesquels le contact avec un médecin du travail n'a pu être établi.

**Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2012**

	Nombre de travailleurs
<b>Dose efficace</b>	<b>14</b>
<i>due à une exposition externe</i>	<i>14</i>
<i>due à une exposition interne</i>	<i>0</i>
<b>Dose équivalente aux extrémités</b>	<b>1</b>
<b>Dose équivalente à la peau (poitrine)</b>	<b>0</b>

## EVOLUTION SUR LA PERIODE 1996-2012

La figure 14 présente l'évolution depuis 1996 du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv. Depuis 2004, l'IRSN trace chacun des signalements de dépassement pour avoir accès aux conclusions de l'enquête menée par le médecin du travail, ce qui s'est traduit par une diminution du nombre de cas recensés.

Cette évolution est détaillée suivant les domaines d'activité des travailleurs concernés sur la période 2004-2012 (figure 15). Le domaine des activités médicales et vétérinaires est celui où les effectifs

présentant les doses les plus élevées sont les plus nombreux. C'est aussi le domaine où les travailleurs suivis sont les plus nombreux et où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres étaient précédemment les plus importants et il est vraisemblable qu'un certain nombre des fortes valeurs observées dans les années 90 n'aient pas été réellement reçues (typiquement, le dosimètre reste dans la salle d'examen et enregistre alors une dose significative non reçue par le travailleur, ou le dosimètre est porté au-dessus du tablier de plomb et non en-dessous,...).

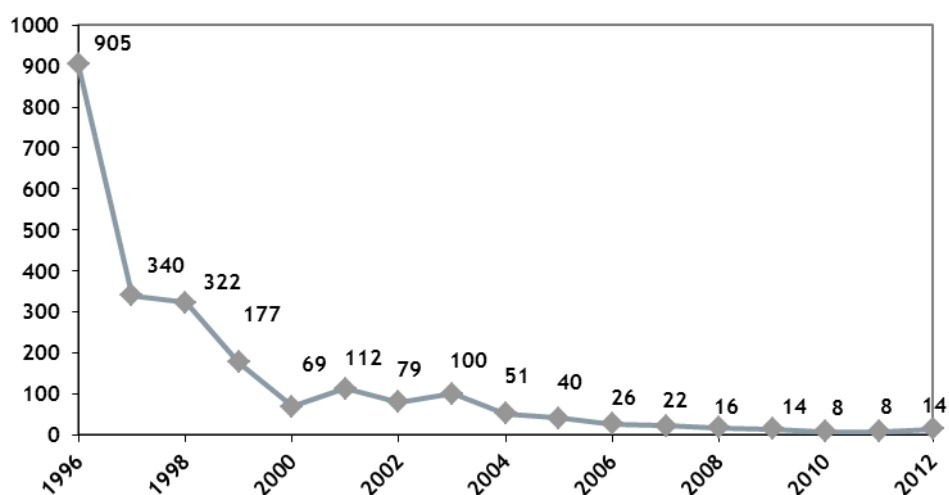


Figure 14 - Evolution, de 1996 à 2012, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv

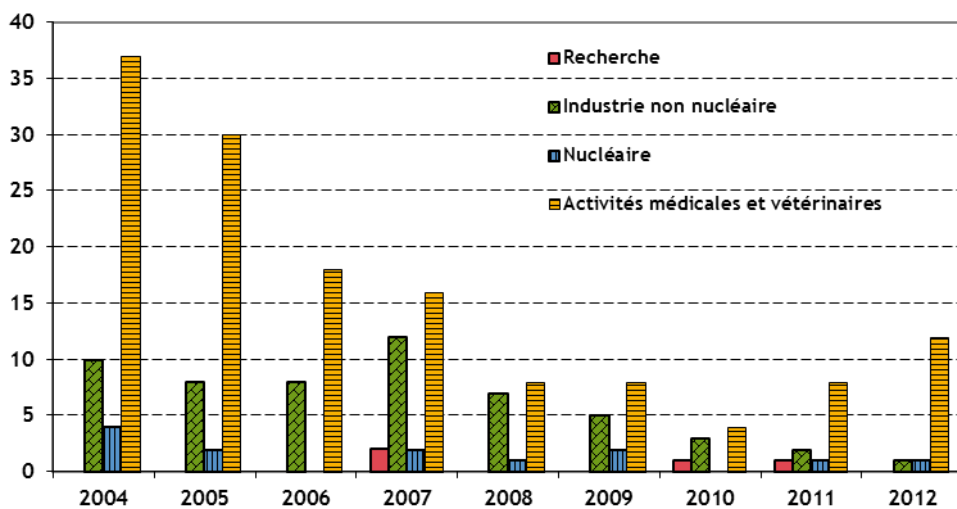


Figure 15 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2012)

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Parmi l'ensemble des événements recensés par l'IRSN en 2012, 246 concernent directement les travailleurs, soit une augmentation de 22% par rapport à l'année 2011. La figure 16 illustre la répartition de ces événements selon les domaines

d'activités. Ces événements sont majoritairement intervenus dans le domaine nucléaire (63%) puis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (24%), dans la recherche (9%) et dans l'industrie non nucléaire (4%).

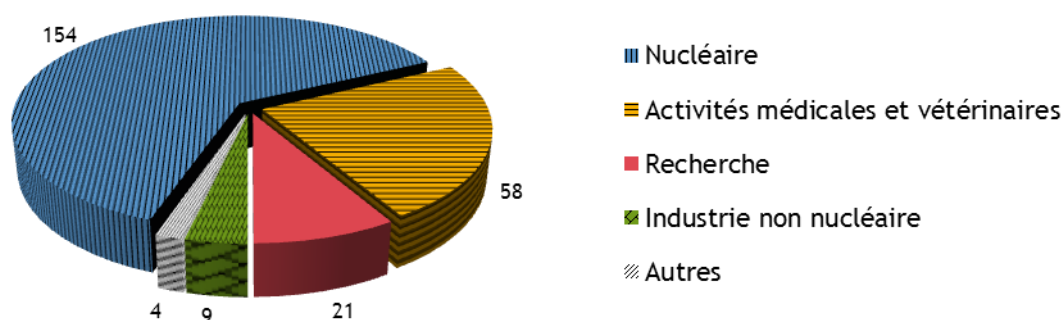


Figure 16 - Répartition des événements concernant des travailleurs suivant leur domaine d'activité

Parmi les 246 événements recensés comme concernant directement les travailleurs, 194 sont des événements déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN, notamment :

- le guide relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux

installations nucléaires de base et au transport de matières radioactives,

- le guide n° 11 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives.

### Evolution sur la période 2004 - 2012

Le tableau 8 reprend la répartition selon les grands domaines d'activité des événements ayant impliqué des travailleurs depuis 2004. Il ne montre pas d'évolution significative sur ces 9 années. Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose, dans une proportion supérieure (69%) à celle que représente l'effectif de ce domaine (62%) par rapport à l'ensemble des travailleurs suivis. Il convient de noter que ces événements sont connus sans aucune démarche proactive des employeurs puisque les alertes sont déclenchées par les

laboratoires de dosimétrie. Si la culture de déclaration entre peu à peu dans les habitudes du domaine médical en ce qui concerne les événements patients, il semblerait qu'il y ait peu d'évolution des pratiques déclaratives en ce qui concerne les événements affectant la radioprotection des travailleurs. Les domaines d'activité ayant historiquement une culture déclarative plus forte, à l'image du domaine nucléaire, affichent un nombre relativement stable d'événements.

Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2004 - 2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose</b>									
- activités médicales et vétérinaires	42	63	53	54	36	44	32	34	36
- industrie non nucléaire	11	17	13	18	17	13	5	12	4
- nucléaire	0	0	1	0	4	2	5	3	6
- recherche	2	2	1	0	0	0	0	0	3
- autres									3
<b>Total alertes de dépassements</b>	<b>55</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>59</b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>52</b>
<b>Autres événements</b>									
- activités médicales et vétérinaires	2	8	9	10	7	11	13	17	22
- industrie non nucléaire						19	17	2	5
- nucléaire	193	182	170	169	183	137	137	132	148
- recherche						6	1	2	18 <sup>(*)</sup>
- autres									1
<b>Total autres événements</b>	<b>195</b>	<b>190</b>	<b>179</b>	<b>179</b>	<b>190</b>	<b>173</b>	<b>168</b>	<b>153</b>	<b>194</b>
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>272</b>	<b>247</b>	<b>251</b>	<b>247</b>	<b>232</b>	<b>210</b>	<b>202</b>	<b>246</b>

(\*) Les événements survenus dans les installations de recherche liées au nucléaire sont classés dans le domaine de la recherche à partir de l'année 2012 uniquement, ce qui explique l'augmentation du nombre d'événement dans ce domaine entre 2011 et 2012.



# DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 50
Dosimétrie corps entier	p 50
Dosimétrie des extrémités	p 52
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 54
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 54
Surveillance spéciale	p 54
Estimations dosimétriques	p 55
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 55
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 55
OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE	p 56

Le domaine des activités médicales et vétérinaires utilisant les rayonnements ionisants recouvre les secteurs de la radiologie médicale, de la médecine nucléaire, de la radiothérapie, de la médecine du travail, des soins dentaires, de la médecine vétérinaire, ainsi que les laboratoires d'analyses mettant en œuvre des techniques de radio-immunologie (RIA), et les activités de logistique et de maintenance sur les différentes installations.

La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle. Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans les secteurs dentaire et vétérinaire.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires est en augmentation de 2,9% par rapport à l'année 2011, alors que la dose collective dans ce domaine diminue de 8,2% entre 2011 et 2012, avec une diminution de la dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) de 0,54 mSv à 0,49 mSv.

- **220 638** travailleurs suivis

- dose collective annuelle :

**18,28** homme.Sv

- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :

**0,49** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

Le tableau 9 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Tous les laboratoires ne sont pas encore en mesure de distinguer les données relatives aux activités de radiodiagnostic de celles concernant la radiologie interventionnelle. C'est la raison pour laquelle ces données sont regroupées dans la catégorie « Radiologie ».

Un certain nombre -non quantifié précisément- de travailleurs enregistrés en radiologie médicale ou en radiothérapie interviennent en réalité en radiographie industrielle, notamment dans le cadre de prestations en INB. Les effectifs, doses collectives et doses moyennes indiquées pour ces deux secteurs du domaine médical sont donc à

considérer avec prudence car probablement surestimés.

Pour chaque secteur d'activité, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense (hôpitaux inter-armée) suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs du radiodiagnostic, de la radiologie interventionnelle, des soins dentaires, de la médecine du travail, de la radiothérapie, de la médecine nucléaire, de la médecine vétérinaire et de la maintenance. Ils représentent 0,8% de l'effectif total du domaine médical et vétérinaire, avec une contribution à la dose collective de 0,8%.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2012 a été enregistrée dans le secteur de la radiothérapie. Cette dose est de 175 mSv ; il

s'agit de l'un des cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle pour lesquels l'IRSN n'a eu aucun retour du médecin du travail malgré les relances effectuées.

**Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires**

Secteur d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Radiologie	117 423	11,52	0,10	0,50	94 304	21 063	1 854	188	6	8
Soins dentaires	46 239	1,95	0,04	0,38	41 097	4 960	174	6	1	1
Médecine du travail et dispensaires	4 775	0,24	0,05	0,34	4 068	677	27	3	0	0
Radiothérapie	8 885	1,62	0,18	0,83	6 940	1 677	215	51	1	1
Médecine nucléaire	3 602	1,11	0,31	0,80	2 209	1 040	351	1	0	1
Laboratoires d'analyses (RIA)	164	0,002	0,01	0,17	152	12	0	0	0	0
Médecine vétérinaire	19 236	0,56	0,03	0,33	17 521	1 669	45	0	0	1
Logistique et maintenance (prestataires)	135	0,02	0,15	0,43	88	45	2	0	0	0
Autres	20 179	1,28	0,06	0,43	17 230	2 790	151	5	3	0
<b>Total</b>	<b>220 638</b>	<b>18,28</b>	<b>0,08</b>	<b>0,49</b>	<b>183 609</b>	<b>33 933</b>	<b>2 819</b>	<b>254</b>	<b>11</b>	<b>12</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total surveillé.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif surveillé pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

### Contribution des neutrons

L'effectif du domaine médical dont l'exposition aux neutrons est surveillée est de 3 706 travailleurs (soit 1,7% de l'effectif de ce domaine). Il est stable par rapport à 2011. La dose collective correspondante est égale à 36 homme.mSv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée est égale à 1,87 mSv.

Plus de 92% de la dose collective provient du secteur de la radiologie médicale, et 6% du secteur

de la radiothérapie. Le domaine des activités médicales et vétérinaires n'est *a priori* pas celui dans lequel le risque d'exposition aux neutrons est élevé. Ces résultats reflètent donc également les erreurs dans l'affectation des secteurs d'activité des travailleurs par les laboratoires assurant leur suivi dosimétrique.

### Evolution sur la période 1996-2012

L'évolution de la dosimétrie entre 1996 et 2011 est caractérisée par deux périodes différentes (figure 17) : une première période (1996 - 2004) au cours de laquelle l'effectif reste stable alors que la dose collective diminue, ce qui peut refléter un certain progrès dans les pratiques, avec une optimisation de la radioprotection entraînant une diminution

progressive des doses reçues. Depuis 2004, l'effectif et les doses collectives augmentent parallèlement jusqu'en 2010, avant une tendance à la baisse de la dose collective observée les deux dernières années alors que l'effectif suivi continue d'augmenter.

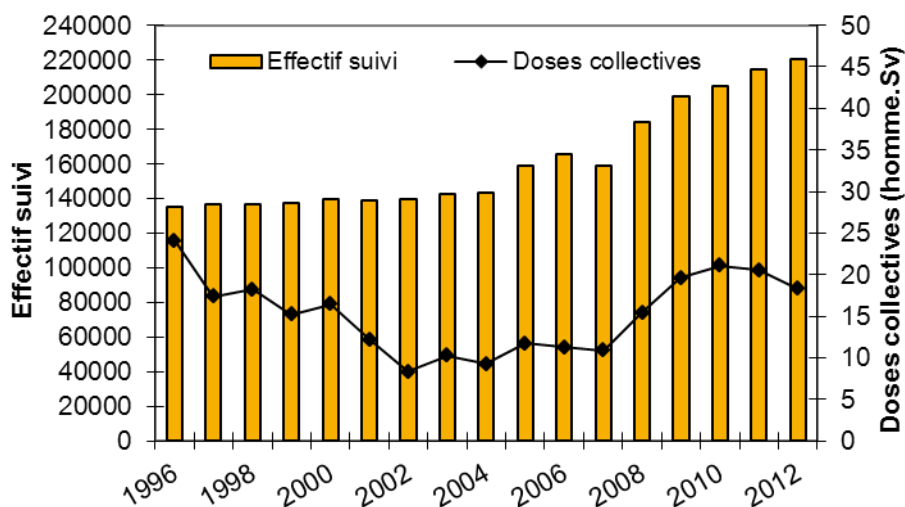


Figure 17 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2012)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2012, 13 389 travailleurs du domaine médical et vétérinaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale

enregistrée étant de 74,95 Sv et la dose individuelle moyenne de 5,6 mSv.

### Dosimétrie par bague

70% des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portent un dosimètre bague, soit 9 319 travailleurs. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 71,29 Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 600 mSv et constitue un cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle de dose, intervenu dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

La figure 18 illustre la répartition des doses enregistrées en 2012 suivant les secteurs d'activité de ce domaine. C'est le secteur de la radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) qui contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec 65% des travailleurs suivis et 54% de la dose totale enregistrée.

### Dosimétrie au poignet

En 2012, la dose totale enregistrée dans les domaines des activités médicales et vétérinaires à l'aide de la dosimétrie au poignet de 4 070 travailleurs s'élève à 3,72 Sv. Le secteur de la

radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) contribue pour 76% à l'effectif surveillé et pour 81% à la dose totale enregistrée.

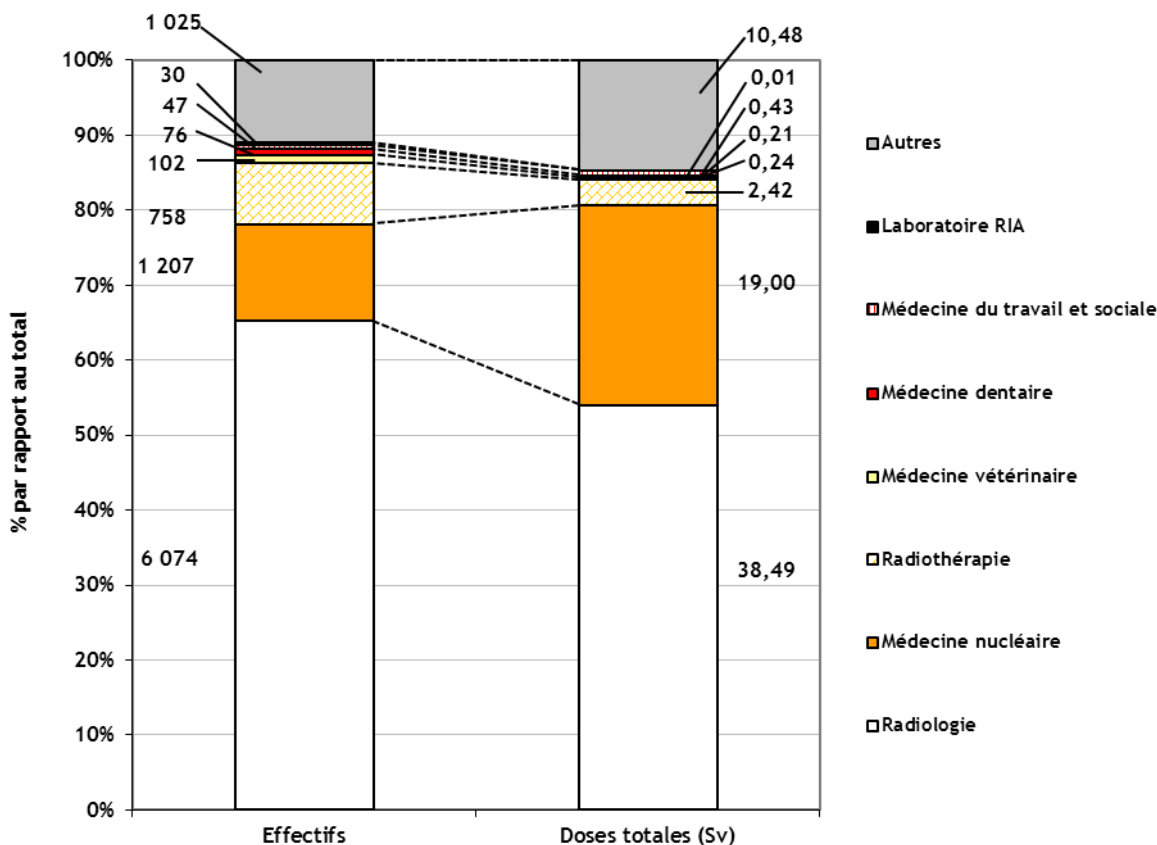


Figure 18 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2012 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

97% des 13 261 examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires et concernent des travailleurs de médecine nucléaire, de laboratoires

d'analyses médicales utilisant des techniques de radio-immunologie et des travailleurs de médecine vétérinaire (tableau 10).

*Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires*

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Médecine nucléaire	1 634	11 801	39
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	403	920	3
Médecine vétérinaire	18	35	0
Autres activités (domaine médical)	10	48	0
<b>Total</b>	<b>2 065</b>	<b>12 804</b>	<b>42</b>

### SURVEILLANCE SPECIALE

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou d'une surveillance de contrôle ont été très majoritairement faits pour le

secteur de la médecine nucléaire, où 7% des examens se sont révélés positifs (tableau 11).

*Tableau 11 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine des activités médicales et vétérinaires*

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Médecine nucléaire	81	166	11
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	16	33	4
Médecine vétérinaire	9	9	0
<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>208</b>	<b>15</b>

<sup>(\*)</sup> Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

4 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par un calcul de dose en 2012. Il n'a été enregistré aucune dose

supérieure ou égale à 1 mSv pour ces 4 travailleurs.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, 12 cas de dépassement de la limite de 20 mSv ont été recensés, dont 3 valeurs supérieures à 50 mSv. La dose maximale enregistrée est égale à 175 mSv dans le secteur de la radiothérapie. Les autres cas se répartissent entre la radiologie interventionnelle (8 cas dont deux valeurs supérieures à 50 mSv), les soins dentaires (1 cas : valeur inférieure à 50 mSv), la médecine nucléaire (1 cas : valeur inférieure à 50 mSv) et la médecine vétérinaire (1 cas : valeur inférieure à 50 mSv).

Concernant la dosimétrie aux extrémités, 1 cas de dépassement de la limite de 500 mSv a été recensé à partir de la dosimétrie par bague pour un travailleur du secteur de la radiologie interventionnelle, la dose enregistrée étant de 600 mSv. Aucun dépassement de la limite de 500 mSv pour la dosimétrie au poignet n'a été enregistré en 2012 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

Concernant la dosimétrie à la peau, aucun dépassement de la limite de 500 mSv n'a été enregistré en 2012 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2012, 58 événements de radioprotection (ERP) ont été recensés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, dont la répartition par secteur d'activité est présentée dans le tableau 12.

Sur l'ensemble des événements recensés du domaine médical, 22 des ERP relevant du guide n°11 de déclaration de l'ASN ont fait l'objet d'une déclaration portée à la connaissance de l'IRSN :

- 10 ERP déclarés au titre du critère n°1 relatif à une exposition ou une situation mal ou non maîtrisée, ayant entraîné ou susceptible d'entraîner un dépassement de la limite de dose individuelle annuelle réglementaire associée au classement du travailleur ;

- 7 ERP déclarés au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives :

- 2 pertes de contrôle de sources,
- 1 perte de source,
- 1 cas de dispersion de radionucléide,
- 2 livraisons non conforme à l'autorisation délivrée,
- 1 perte d'intégrité de source ;

- 5 ERP déclarés au titre du critère n°6 « Autres ».

Les autres événements recensés dans le domaine médical sont uniquement des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose. Il s'agit d'événements soit non déclarés à l'autorité soit déclarés mais dont l'IRSN ignore la déclaration, et qui sont donc comptabilisés comme des événements non déclarés. En effet, l'IRSN, par le biais de ses actions d'expertise, peut être alerté d'un événement sans pour autant savoir s'il a été déclaré ou non à l'autorité.

**Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires**

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiodiagnostic	13
Radiologie interventionnelle	13
Médecine nucléaire	10
Radiothérapie	6
Soins dentaires	3
Logistique et maintenance du médical	3
Médecine vétérinaire	2
Laboratoire d'analyse médicale	1
Autres	7
<b>Total</b>	<b>58</b>

## OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

### CALCULS DE RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

Les accélérateurs de particules utilisés en radiothérapie produisent des faisceaux d'électrons et de photons dans la gamme d'énergies de 4 à 25 MeV et délivrent des débits de dose allant jusqu'à  $24 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  à 1 mètre de la source. Les faisceaux de photons X d'énergie nominale supérieure à 10 MeV engendrent par ailleurs un rayonnement neutronique secondaire par interaction avec des matériaux lourds situés dans la tête de l'appareil ou dans les murs. L'énergie moyenne de cette composante neutronique est d'environ 500 keV et son intensité croît de façon exponentielle avec l'énergie du faisceau de photons. Un rayonnement  $\gamma$  est également produit par l'interaction des neutrons avec les murs de béton du bunker. Afin de protéger le personnel contre ces rayonnements, les accélérateurs médicaux sont installés dans des bunkers avec des parois généralement en béton de plus d'un mètre

d'épaisseur, une porte renforcée et une chicane permettant de limiter l'épaisseur de la porte.

Depuis quelques années l'IRSN fournit un support technique aux professionnels de radiothérapie, en particulier aux radiophysiciens, pour le dimensionnement de nouvelles installations ou le redimensionnement de bunkers existants lors d'un changement d'appareil. L'IRSN réalise également des prestations pour des centres de radiothérapie ou pour des sociétés mandatées par ceux-ci (cabinets d'architecte, entreprises du bâtiment...) et répond aux éventuelles demandes d'expertise de la part des autorités (ASN). Ces prestations ou avis d'expertise concernent généralement des installations non standard (type d'appareil, géométrie ou matériaux du bunker). Elles incluent la vérification du zonage et des protections envisagées et la proposition éventuelle de



protections supplémentaires pour respecter la réglementation en vigueur en radioprotection. Les évaluations se fondent sur l'estimation par calcul du débit d'équivalent de dose et de la dose efficace aux points d'intérêt, pour les champs de photons et de neutrons. Les calculs sont réalisés suivant des méthodes analytiques proposées dans la littérature internationale, en particulier les méthodes recommandées par le National Council of Radiation Protection (NCRP). Depuis 2011, dans le cas de configurations particulières pour lesquelles les approches analytiques n'ont pas été validées, des calculs par simulation de Monte Carlo sont également effectués. Ces calculs tiennent compte de la singularité d'une configuration donnée.

Suite aux études de l'IRSN réalisées en 2011 [15] et portant sur deux projets de construction de bunkers de radiothérapie, la conception de ces bunkers a été revue par les exploitants afin de lever les réserves émises par l'IRSN. L'analyse des nouveaux projets a permis de conclure que les

solutions envisagées par les exploitants permettaient de respecter les règles de radioprotection en vigueur concernant l'exposition des travailleurs.

En 2012, une étude approfondie par simulation de Monte Carlo de la transmission et de la production de neutrons dans différents matériaux utilisés pour la construction des bunkers de radiothérapie a été réalisée dans le cadre d'un stage de master 2 de radioprotection. Les matériaux étudiés sont différents types de bétons (ordinaire, baryté, à la magnétite, à l'hématite, à la colémanite, Ledite), divers mélanges poudreux anhydres utilisés dans les constructions selon le système de murs « Forster-Sandwich » (EOS, laitier SPB, MagnaDense 8S évoqués précédemment [15]), des métaux (aciers de compositions différentes, plomb, tungstène) et des matériaux hydrogénés (paraffine, polyéthylène boré à 5%). Pour l'étude de la transmission des neutrons, les épaisseurs de décitranmission en équivalent de dose des matériaux étudiés ont été calculées.

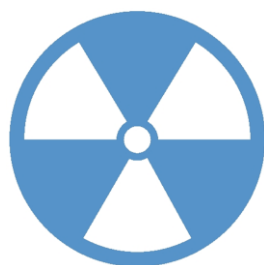
## FOCUS

### Projet de norme ISO concernant la radioprotection auprès des accélérateurs médicaux

Un projet de norme ISO sur les règles de radioprotection auprès des accélérateurs médicaux d'électrons, en particulier sur l'évaluation des protections radiologiques, a été proposé par l'IRSN et a obtenu un vote favorable des états membres du comité « radioprotection de l'ISO » en mai 2012. Un groupe d'experts international a été constitué, animé par l'IRSN, qui doit rédiger un document pour fin 2013. Ce projet est apparu opportun dans un contexte où les techniques d'irradiation en radiothérapie sont de plus en plus diversifiées et complexes (modulation de l'intensité du faisceau, modulation du débit de dose, arc-thérapie, radiothérapie hélicoïdale, radiothérapie stéréo-taxique robotisée, radiothérapie peropératoire avec appareils dédiés), et où la conception des protections radiologiques (bunkers) évolue également (géométrie et matériaux).



# DOMAINE NUCLEAIRE



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 60
Dosimétrie corps entier	p 60
Dosimétrie des extrémités	p 63
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 64
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 65
Surveillance spéciale	p 68
Estimations dosimétriques	p 68
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 69
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 69

Le domaine nucléaire regroupe les activités industrielles civiles et les activités nucléaires militaires.

L'industrie nucléaire civile recouvre l'ensemble des étapes du cycle du combustible (principalement réalisées chez AREVA NC, agents et prestataires), l'exploitation des réacteurs de production d'électricité (EDF, agents et prestataires), les activités de transport effectuées dans ce domaine (transport de matières dangereuses de classe 7, matières radioactives), ainsi que les activités de démantèlement des installations nucléaires et de gestion des déchets.

Les activités militaires recouvrent la propulsion nucléaire, l'armement et les activités de la Direction des Applications Militaires du CEA.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine nucléaire est en augmentation de 3,1% par rapport à l'année 2011, alors que la dose collective varie peu (-0,4% entre 2011 et 2012), avec une dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) qui reste relativement stable (1,16 mSv contre 1,18 mSv en 2011).

- **70 456** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**25,01** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**1,16** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

Le tableau 13 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'armement, du transport et dans le secteur « Autres ». Ils représentent 6,1% de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 1,8%.

La part de l'effectif de ce domaine pour lequel le secteur d'activité n'est pas connu atteint 31%. Il

s'ensuit que les résultats présentés dans le tableau 13 doivent être considérés avec une certaine prudence, à l'exception des secteurs où l'activité est déjà bien caractérisée, à savoir les principales étapes du cycle du combustible nucléaire, dont notamment le secteur des réacteurs de production d'énergie.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2012 a été enregistrée dans le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires. Cette dose est de 97 mSv, ce qui constitue un cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle.

Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire

Secteur d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Propulsion nucléaire - équipage	2 578	0,21	0,08	0,21	1 566	1 002	10	0	0	0
Armement	2 569	0,23	0,09	0,30	1 801	743	25	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	135	0,04	0,30	0,33	13	119	3	0	0	0
Enrichissement et conversion	2 247	0,34	0,15	0,77	1 804	319	124	0	0	0
Fabrication du combustible	1 743	1,88	1,08	3,19	1 014	336	266	127	0	0
Réacteurs de production d'énergie <sup>(c)</sup>	23 673	6,78	0,29	0,90	16 162	5 210	2 256	44	1	0
Retraitement	3 190	0,12	0,04	0,36	2 860	318	12	0	0	0
Démantèlement	1 844	0,10	0,05	0,45	1 623	192	29	0	0	0
Effluents, déchets	32	0,00	0,00	0,00	32	0	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	9 736	6,85	0,70	1,58	5 390	2 639	1 440	264	2	1
Transports	903	0,07	0,08	0,29	663	230	10	0	0	0
Autres	21 806	8,40	0,38	1,44	15 990	3 773	1 737	305	1	0
<b>Total</b>	<b>70 456</b>	<b>25,01</b>	<b>0,35</b>	<b>1,16</b>	<b>48 918</b>	<b>14 881</b>	<b>5 912</b>	<b>740</b>	<b>4</b>	<b>1</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total surveillé.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif surveillé pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

(c) Comme les années précédentes, les données concernant l'exposition des personnels d'EDF aux neutrons n'ont pu être transmises par le laboratoire assurant leur surveillance dosimétrique. Grâce à une extraction des données de SISERI, les statistiques du secteur « Réacteurs de production d'énergie » incluent désormais toutes les données concernant les travailleurs d'EDF.

### Contribution des neutrons

31 102 travailleurs du domaine nucléaire ont une surveillance de l'exposition aux neutrons (soit 44% de l'effectif de ce domaine). Cet effectif est en augmentation de 17% par rapport à 2011. La dose collective correspondante est en augmentation de 19%, atteignant 1,9 homme.Sv. Une partie de l'augmentation de l'effectif surveillé s'explique par la prise en compte de travailleurs du secteur des réacteurs de production d'énergie qui n'avaient pas été comptabilisés dans le bilan l'année passée, mais sans que la dose collective pour ce secteur s'en trouve augmentée.

L'augmentation de la dose collective est principalement observée dans le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires. C'est également dans ce secteur que la dose individuelle maximale est enregistrée (8,8 mSv), comparable à celle de 2011.

La figure 19 présente pour l'année 2012 la répartition des effectifs et des doses collectives dues aux neutrons. 57% de cette dose collective est enregistrée dans le secteur de la fabrication du combustible, pour la quasi-totalité (plus de 99%) au sein de l'établissement MELOX.

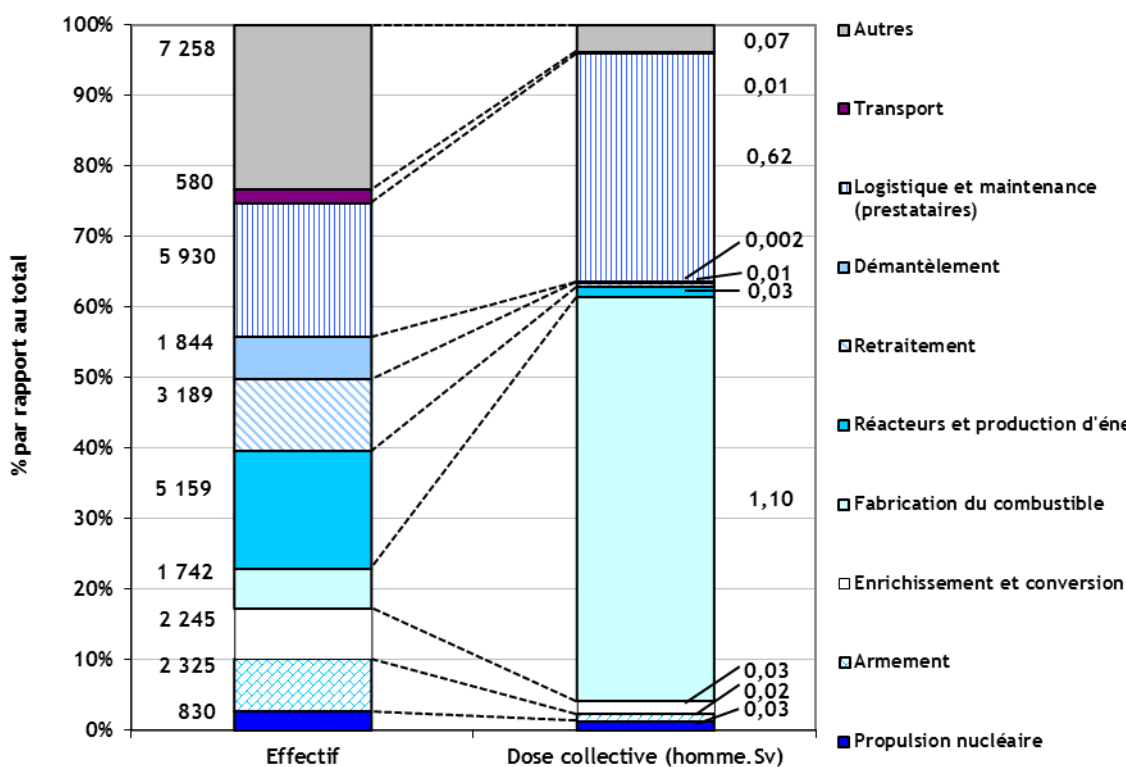


Figure 19 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2012 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

### Evolution sur la période 1996-2012

La figure 20 présente l'évolution de l'effectif suivi et de la dose collective entre 1996 et 2011 dans le nucléaire.

Il est possible de distinguer deux périodes dans l'évolution de la dose collective : jusqu'en 2006, la

dose diminue globalement pendant que l'effectif suivi connaît des variations plus aléatoires ; à partir de 2006, l'effectif suivi augmente assez régulièrement alors qu'une relative stabilité de la dose collective est observée. Les faibles variations

de la dose collective sur cette période reflètent principalement l'évolution de certaines activités, notamment le report d'une année sur l'autre d'opérations de maintenance dans les centrales

nucléaires d'EDF (par exemple, plusieurs visites décennales prévues en 2010 ont été reportées en 2011, expliquant en grande partie la diminution de la dose collective observée entre 2009 et 2010).

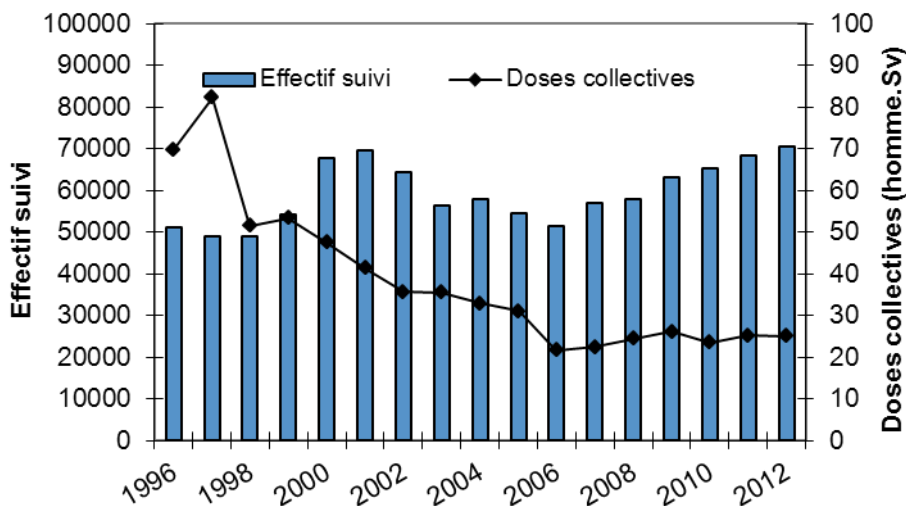


Figure 20 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2012)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2012, 13 389 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de

74,95 Sv et la dose individuelle moyenne de 5,6 mSv.

### Dosimétrie par bague

L'année 2012 confirme l'arrêt observé en 2011 dans la progression de la proportion des travailleurs portant un dosimètre bague pour leur suivi de l'exposition des extrémités : les 1 012 travailleurs concernés représentent en effet 15%

de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités, contre 2% en 2008, 17% en 2009, 21% en 2010 et 16% en 2011. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 1,02 Sv, avec une dose individuelle maximale égale à 121 mSv.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 5 881 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 37,2 Sv. Si l'effectif suivi diminue de 11% entre 2011 et 2012, la dose totale correspondante enregistrée dans le même temps une diminution de 31%, atteignant 37,2 Sv. Il s'ensuit une diminution

de la dose individuelle moyenne enregistrée au poignet dans le domaine nucléaire de 10,1 mSv à 6,3 mSv. La dose individuelle maximale est égale à 338 mSv. Elle est enregistrée dans le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le tableau 14 indique dans quel secteur d'activité les établissements intervenant dans le domaine nucléaire ont été classés par les organismes

assurant la surveillance de l'exposition interne de leurs travailleurs. Le classement qui en résulte reste macroscopique.

**Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)**

Secteur d'activité	Etablissements
Propulsion Nucléaire	AREVA TA
Armement	CEA DAM Valduc
Enrichissement et reconversion	AREVA NC Pierrelatte, CEA Pierrelatte, COMURHEX Malvesi, COMURHEX Pierrelatte, EURODIF (pas encore de suivi à SET GB II en 2012)
Fabrication du combustible	FBFC Romans, MELOX
Réacteurs de production d'énergie	EDF
Retraitement	AREVA NC La Hague
Démantèlement des installations nucléaires	AREVA NC Cadarache, AREVA NC Marcoule, CEA Fontenay-aux-Roses, CEA Grenoble, STMI Cadarache
Effluents, déchets et matériaux récupérables	CENTRACO, STMI TRIADE Pierrelatte, SOCATRI
Logistique et maintenance (prestataires)	AREVA NC Intercontrôle, entreprises extérieures d'AREVA NC Marcoule, de MELOX, du CEA Cadarache, du CEA DAM Ile-de-France
Installations de recherche liées au nucléaire (*)	CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Marcoule, CEA Saclay
Transport (nucléaire)	TN International
Autres (nucléaire)	AREVA NC siège, AREVA NP Chalon, AREVA BG Mines, SGN Marcoule, SGN St-Quentin, SOMANU

(\*) Ce secteur est comptabilisé dans le domaine de la recherche et non dans le domaine nucléaire ; la ligne est conservée dans ce tableau pour donner l'information sur les établissements concernés.

Dans le nucléaire, les risques de contamination proviennent principalement des produits de fission et d'activation, des actinides et du tritium. Dans les installations en amont et en aval du cycle, la mesure anthroporadiométrique pulmonaire permet

un suivi des personnels soumis au risque de contamination par des émetteurs  $\alpha$  ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , ...). Les analyses fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides.



**SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE**

D'après les données collectées pour établir le bilan 2012, il apparaît que ce sont les examens anthroporadiométriques qui sont majoritairement réalisés dans le domaine nucléaire puisqu'ils représentent 63% des 329 192 examens réalisés en surveillance de routine dans ce domaine. Viennent ensuite les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux (27%), urinaires (7,5%) et de selles (2,5%).

Le tableau 15 présente les résultats de la surveillance faite par analyses radiotoxicologiques urinaires, en 2012. Les deux secteurs effectuant les plus grands nombres de ces analyses sont l'armement, avec 38% des analyses et le retraitement (26%). Le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques urinaires qui sont positives est de 1,6%.

*Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire*

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Transport (nucléaire)	72	51	0
Propulsion nucléaire	57	162	2
Armement	nc	9 402	269
Enrichissement et conversion	1 612	2 269	16
Fabrication du combustible	711	44	14
Réacteurs de production d'énergie	5	5	1
Retraitement	3 349	6 461	3
Démantèlement des installations nucléaires	932	4 776	97
Effluents, déchets et matériaux récupérables	27	27	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	770	1 512	3
Autres activités (nucléaire)	195	44	0
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>24 753</b>	<b>405</b>

<sup>(\*)</sup> Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

nc : non communiqué, nd : non déterminé

Le tableau 16 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs. En 2012, le démantèlement des installations nucléaires est le secteur pour lequel le nombre d'examens est le plus élevé (42% des

analyses de selles réalisées dans ce domaine). Le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques fécales qui sont positives est de 3,6%.

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	35	70	4
Armement	nc	1 386	5
Enrichissement et conversion	422	142	1
Fabrication du combustible	1 209	689	83
Réacteurs de production d'énergie	7	42	0
Retraitement	857	1 091	7
Démantèlement des installations nucléaires	1 172	3 496	126
Effluents, déchets et matériaux récupérables	8	15	7
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 344	1 414	66
Autres activités (nucléaire)	2	2	0
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>8 347</b>	<b>299</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

nc : non communiqué, nd : non déterminé

Le tableau 17 présente le bilan des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux réalisées en 2012. Le nombre important d'analyses s'explique par le fait qu'il s'agit d'une surveillance faite à chaque sortie de locaux classés en zone contrôlée.

Le tableau 18 présente la répartition des examens anthroporadiométriques réalisés en 2012. Pour 86% d'entre eux, ces examens sont réalisés par EDF sur les sites des centrales nucléaires, pour les travailleurs d'EDF ainsi que pour les prestataires. Le retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examens réalisés.

**Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Armement	nc	54 375	0
Enrichissement et conversion	280	15	0
Réacteurs de production d'énergie	743	4 627	781
Démantèlement des installations nucléaires	746	28 161	263
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>87 178</b>	<b>1 044</b>

nc : non communiqué, nd : non déterminé

**Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Transport (nucléaire)	72	49	0
Propulsion nucléaire	4 122	4 937	0
Armement	nc	1 563	0
Fabrication du combustible	795	146	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	49 660	174 270	61
Retraitement	7 317	11 764	10
Démantèlement des installations nucléaires	2 797	3 716	21
Effluents, déchets et matériaux récupérables	195	200	nc
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	4 350	4 800	3
Autres activités (nucléaire)	1 420	2 923	0
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>204 305</b>	<b>nc</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

(\*\*) Cette ligne inclut, sans moyen de les distinguer, les prestataires intervenant dans les centrales nucléaires d'EDF, qui ne peuvent donc pas être comptabilisés dans le secteur « Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) ».

nc : non communiqué, nd : non déterminé

## SURVEILLANCE SPECIALE

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou de contrôle (tableau 19) se répartissent majoritairement entre les travailleurs des centrales nucléaires d'EDF (61% des examens) et ceux du secteur du retraitement (18% des examens).

*Tableau 19 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine nucléaire*

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	26	36	0
Armement	105	307	15
Enrichissement et conversion	1 041	292	7
Fabrication du combustible	58	142	56
Réacteurs de production d'énergie (**)	3 700	6 309	612
Retraitement	112	2 409	27
Démantèlement des installations nucléaires	106	403	32
Effluents, déchets et matériaux récupérables	7	31	10
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	110	222	38
<b>Total</b>	<b>5 265</b>	<b>10 151</b>	<b>797</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

(\*\*) Cette ligne inclut, sans moyen de les distinguer, les prestataires intervenant dans les centrales nucléaires d'EDF, qui ne peuvent donc pas être comptabilisés dans le secteur « Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) ».

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 347 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2012. Les deux secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (274 travailleurs) et les réacteurs de production d'énergie (47 travailleurs).

Pour 10 travailleurs, la dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv, avec une valeur maximale de 4 mSv enregistrée pour 3 travailleurs, respectivement de la propulsion nucléaire, de l'armement et du retraitement.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

La limite de 20 mSv en dose efficace a été dépassée pour un travailleur prestataire du secteur des opérations de logistique et de maintenance, la dose enregistrée étant de 97 mSv.

Concernant la dosimétrie aux extrémités, aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux

extrémités n'a été enregistré en 2012 dans le domaine nucléaire.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv à la peau n'a également été enregistré en 2012 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2012, 154 événements de radioprotection (ERP) recensés ont impliqué des personnes travaillant dans le nucléaire (tableau 20), en majorité (73%)

dans les réacteurs de production d'énergie, secteur connu pour sa culture déclarative.

*Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire*

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Réacteurs de production d'énergie	112
Démantèlement des installations nucléaires	11
Logistique et maintenance du nucléaire (Prestataires)	8
Fabrication du combustible	8
Enrichissement et conversion	5
Retraitement	5
Effluents, déchets et matériaux récupérables	5
<b>Total</b>	<b>154</b>

Sur l'ensemble des événements recensés dans le nucléaire, 148 ont fait l'objet d'une déclaration, selon les critères suivants :

- les critères de déclaration au titre de la radioprotection (135 événements) ;
- les critères de déclaration au titre de la sûreté ayant un impact sur radioprotection (10 événements) ;
- les critères de déclaration au titre de l'environnement ayant un impact sur radioprotection (3 événements).

Parmi les événements déclarés, 6 ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES. Les autres événements sont classés au niveau 0.

D'autre part, 6 événements n'ont pas fait l'objet d'une déclaration connue de l'IRSN. Il s'agit d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose.

La répartition des ERP concernant les INB de l'industrie nucléaire, déclarés selon les critères de déclaration ASN (tableau 21), montre que 32% d'entre eux relèvent du critère « zonage » et que 43% n'ont pas été véritablement déclarés selon un critère précis, mais au titre du critère 10.

**Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN**

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
2 - Dépassement du quart d'une limite annuelle de dose individuelle	2
3 - Propreté radiologique	9
4 - Analyse de radioprotection formalisée	4
6 - Source	8
7 - Zonage	47
8 - Défaillance non compensée des systèmes de surveillance radiologique permettant d'assurer la protection des personnels présents	1
9 - Contrôle périodique appareil de surveillance radiologique	9
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	55
<b>Total</b>	<b>135</b>

# DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 72
Dosimétrie corps entier	p 72
Dosimétrie des extrémités	p 74
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 74
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 75
Surveillance spéciale	p 75
Estimations dosimétriques	p 75
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 76
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 76

L'industrie non nucléaire regroupe toutes les activités industrielles hors nucléaire mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants : contrôles non destructifs (gammagraphie), étalonnage, irradiation industrielle, fabrication de produits radiopharmaceutiques et autres activités utilisant des sources radioactives telles que les humidimètres et les gamma-densitomètres, les jauges d'épaisseur ou de niveau, les ioniseurs, etc.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire est en augmentation de 7,5% par rapport à l'année 2011. La dose collective correspondante, qui augmente de 3,9% dans le même temps. La dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) de ce domaine reste relativement stable en 2012 : 1,54 mSv, contre 1,60 mSv en 2011.

- **34 597** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**17,52** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**1,54** mSv

### *Analyse suivant les activités professionnelles*

Le tableau 22 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

L'industrie non nucléaire est le domaine où l'activité professionnelle des travailleurs surveillés est la moins bien connue : 79% des travailleurs n'ont pas pu être classés suivant la nomenclature des activités, effectif qui enregistre 82% de la dose collective dans ce domaine. Rappelons qu'il est probable qu'une fraction non négligeable de l'effectif attribué à l'industrie non nucléaire soit en réalité des travailleurs d'entreprises classées dans ce domaine mais qui interviennent en sous-traitance des exploitants nucléaires. Pour ces raisons, les résultats en termes d'effectifs et de

doses détaillés par secteur d'activité (tableau 22) sont à considérer avec une certaine prudence.

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs du contrôle utilisant des gammagraphes et des générateurs X, dans le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires et dans le secteur « Autres ». Ils représentent 2,8% de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,7%.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2012 est de 20,1 mSv et constitue un dépassement de la limite réglementaire annuelle.



Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire

Secteur d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	4 956	2,79	0,56	1,61	3 220	1 091	522	122	1	0
Contrôles : utilisation de gamma-graphes et générateurs X	1 362	0,08	0,06	0,30	1 095	259	8	0	0	0
Contrôle : jauges industrielles	57	0,00	0,00	sans objet	56	1	0	0	0	0
Soudage par faisceau d'électron	162	0,01	0,06	1,00	152	8	1	1	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	537	0,17	0,32	1,63	433	71	27	6	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	234	0,03	0,13	0,24	109	123	2	0	0	0
Autres	27 289	14,44	0,53	1,58	18 175	5 845	2 584	679	5	1
<b>Total</b>	<b>34 597</b>	<b>17,52</b>	<b>0,51</b>	<b>1,54</b>	<b>23 240</b>	<b>7 398</b>	<b>3 144</b>	<b>808</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total surveillé.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif surveillé pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a concerné 8 865 travailleurs de l'industrie non nucléaire en 2012 (soit 26% de l'effectif de ce domaine). L'augmentation de 24% par rapport à 2011 de l'effectif surveillé a concerné principalement le secteur du contrôle non

destructif. La dose collective associée est de 88,2 homme.mSv, ce qui correspond à une augmentation de 69% par rapport à 2011. La dose individuelle maximale de 1,5 mSv. Là encore, la grande majorité de ces travailleurs (82%) ne sont pas classés suivant leur secteur d'activité.

### Evolution sur la période 1996-2012

La figure 21 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire entre 1996 et 2012.

Les effectifs plus importants observés entre 2004 et 2008 s'expliquent par le fait que les travailleurs dont l'activité n'était pas connue étaient inclus dans les effectifs de l'industrie non nucléaire. Depuis l'introduction de la nouvelle nomenclature

en 2009, ce n'est plus le cas. Même si cette nouvelle classification ne permet pas encore de détailler précisément les statistiques par secteur d'activité dans ce domaine, les statistiques obtenues grâce à sa mise en place montrent que l'effectif de l'industrie non nucléaire et la dose collective associée sont très probablement assez stables sur la période 1996-2012.

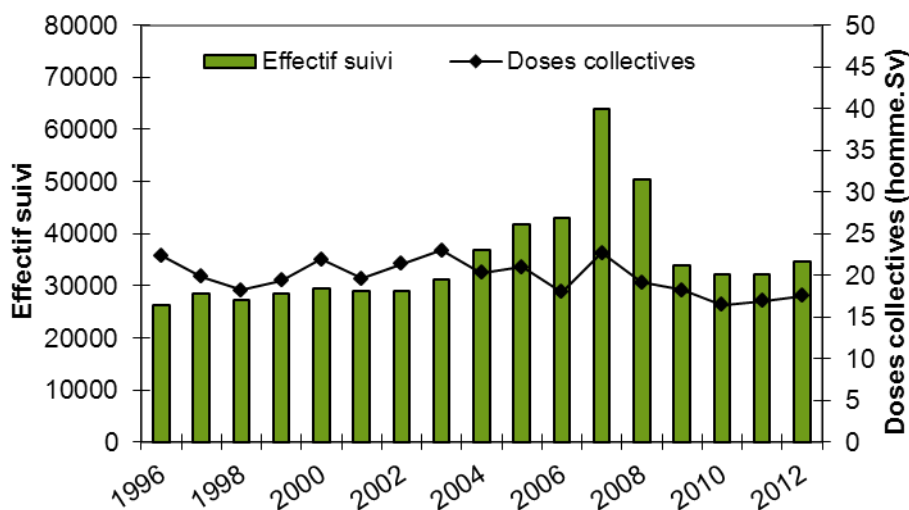


Figure 21 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2012)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2012, 2 620 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de

4,11 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,6 mSv.

### Dosimétrie par bague

Dans l'industrie non nucléaire, 56% des effectifs surveillés par dosimétrie des extrémités en 2012 portent un dosimètre bague. La dose totale enregistrée pour les 1 465 travailleurs bénéficiant

d'une dosimétrie par bague atteint 3,43 Sv, dose reçue à 97% par des travailleurs dont le secteur d'activité n'est pas connu.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 1 155 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint

0,68 Sv. L'activité de 62% des travailleurs est inconnue (75% de la dose totale).

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

L'industrie non nucléaire est le domaine où sont pratiqués le moins d'examens de surveillance de l'exposition interne. Ceci s'explique par le peu d'activités industrielles mettant en jeu des sources non scellées.

Au total, 322 examens ont été réalisés en 2012, qui se répartissent entre les analyses radiotoxiques urinaires (83%) et les examens anthroporadiométriques (17%).

Le tableau 23 détaille la répartition de ces examens par secteur d'activité. Pour celles dont

l'activité du travailleur est identifiée, les analyses radiotoxiques urinaires sont plutôt utilisées dans les secteurs des contrôles pour la sécurité des personnes et des biens et le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires.

Les examens anthroporadiométriques sont majoritairement réalisés dans le secteur de la production de radio-isotopes (47 examens sur 54 au total, près du quart d'entre eux ayant conduit à un résultat considéré positif).

*Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxiques urinaires dans l'industrie non nucléaire*

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Production et conditionnement de radio-isotopes	4	35	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	29	61	0
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	68	68	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	36	104	0
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>268</b>	<b>0</b>

<sup>(\*)</sup> Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

### SURVEILLANCE SPECIALE

La majorité des travailleurs ayant fait l'objet d'une surveillance spéciale sont inclus dans le

secteur « autres » de l'industrie nucléaire (tableau 24).

**Tableau 24 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Production et conditionnements de radio-isotopes	1	2	0
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	1	2	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	48	223	60
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>227</b>	<b>60</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Un calcul de la dose interne a été réalisé en 2012 pour 3 travailleurs de l'industrie non nucléaire.

Aucune dose supérieure ou égale à 1 mSv n'a été retenue.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, 1 cas de dépassement de la limite de 20 mSv a été recensé pour un travailleur du secteur « Autres » de l'industrie non nucléaire, la dose enregistrée étant de 20,1 mSv.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv à la peau n'a également été enregistré en 2012 dans ce domaine.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux extrémités n'a été enregistré en 2012 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2012, 9 événements de radioprotection (ERP) ayant impliqué des personnes travaillant dans l'industrie non nucléaire des rayonnements ionisants ont été recensés par l'IRSN (tableau 25). La majorité d'entre eux se sont produits dans le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements.

Parmi ces 9 événements, l'IRSN a eu connaissance de 6 déclarations (au titre de la radioprotection selon le guide ASN n° 11 concernant les critères de déclaration des événements hors INB et hors transport).

Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	5
Autres usages industriels et de services hors transport	3
Production et conditionnement de radio-isotopes	1
<b>Total</b>	<b>9</b>

**FOCUS**

## Incident intervenu lors de l'utilisation d'un gammagraphe

L'année 2012 a été marquée par un incident lors d'un contrôle de soudure. Cet événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES. L'appareil utilisé, un gammagraphe de type GAM 80, contenait une source radioactive d'Iridium 192 de 2 Téra becquerels qui n'a pas pu être remise dans sa position de sécurité à l'intérieur de l'appareil, se trouvant bloquée dans la gaine d'éjection.

Le dosimètre porté à la poitrine par l'opérateur a révélé une dose « corps entier » de 5,2 mSv, inférieure à la limite fixée par la réglementation (20 mSv).

En revanche, l'estimation dosimétrique menée par l'IRSN à la demande de l'ASN, montre une exposition de ses mains de près de 500 mSv, en une seule exposition. Ce niveau de dose n'est pas susceptible de donner lieu à l'apparition d'effets déterministes pour l'opérateur. Cependant, cette valeur indique que l'exposition cumulée sur les 12 mois glissants est susceptible de dépasser de la limite annuelle réglementaire d'exposition des extrémités. A la date de publication de ce rapport (juin 2013), le médecin du travail n'avait pas confirmé cette exposition.



# DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 80
Dosimétrie corps entier	p 80
Dosimétrie des extrémités	p 82
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 83
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 83
Surveillance spéciale	p 84
Estimations dosimétriques	p 84
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 84
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 84

Le domaine des activités de recherche et d'enseignement recouvre les travaux effectués au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres universitaires, de laboratoires des organismes nationaux de recherche (INSERM, INRA, CNRS,...), ainsi que dans des établissements suivis par le SPRA. Les travaux de recherche du CEA sont en majorité effectués pour l'industrie nucléaire. Cependant une partie d'entre eux concerne d'autres domaines : sciences du vivant, étude des matériaux, applications médicales, applications militaires, etc.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

L'effectif suivi dans le domaine de la recherche et de l'enseignement est resté stable entre 2011 et 2012, avec 14 620 travailleurs. Dans le même temps, la dose collective diminue légèrement de 0,51 homme.Sv à 0,46 homme.Sv. La dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) de ce domaine reste relativement stable en 2012 : 0,33 mSv, contre 0,36 mSv en 2011.

- **14 620** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**0,46** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne  
calculée sur l'effectif exposé :  
**0,33** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

Le tableau 26 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Il apparaît qu'un tiers des effectifs appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires et que près des deux tiers interviennent dans les activités d'enseignement et de la recherche autre que médicale ou nucléaire. Cependant, le faible effectif observé pour la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire laisse à penser qu'une partie des travailleurs de ce secteur est enregistrée par erreur dans celui de l'enseignement et la recherche (hors recherche médicale et nucléaire).

Pour chaque secteur d'activité, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA représentent 5,4% de l'effectif total du domaine de la recherche et de l'enseignement, avec une contribution à la dose collective de 13,8%. Ils interviennent dans le secteur de la recherche (autre que nucléaire et médicale) et de l'enseignement.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2012 est de 12,7 mSv, enregistrée dans le secteur de la recherche liée aux installations nucléaires.



Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement

Secteur d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Recherche (hors recherche médicale et nucléaire) et enseignement	9 691	0,26	0,03	0,28	8 764	906	21	0	0	0
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	71	0,006	0,08	0,35	54	17	0	0	0	0
Recherche liée aux installations nucléaires	4 858	0,19	0,04	0,43	4 413	420	23	2	0	0
<b>Total</b>	<b>14 620</b>	<b>0,46</b>	<b>0,03</b>	<b>0,33</b>	<b>13 231</b>	<b>1 343</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total surveillé.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif surveillé pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 4 256 travailleurs du domaine de la recherche en 2012 (soit 29% de l'effectif de ce domaine). La dose collective associée est de 25,1 homme.mSv (0,025 homme.Sv) et la dose

individuelle maximale enregistrée de 2,7 mSv. La grande majorité de ces travailleurs (74%) intervient dans les activités de recherche liées aux installations nucléaires ; ils reçoivent 75% de la dose collective neutron de ce domaine.

### Evolution sur la période 1996-2012

La nette diminution de l'effectif suivi entre 2008 et 2009 (figure 22) est due à l'introduction de la nouvelle nomenclature des activités (précédemment l'ensemble des travailleurs du CEA étaient inclus dans le domaine de la recherche). L'augmentation de l'effectif entre 2009 et 2010 s'explique par le fait que l'ensemble des activités

de recherche sont désormais incluses dans ce domaine : recherche médicale, recherche liée au nucléaire, autre recherche et enseignement. Dans ce domaine où les doses sont relativement plus faibles que dans les autres, ces évolutions de l'effectif suivi n'ont pas un grand impact sur la dose collective associée.

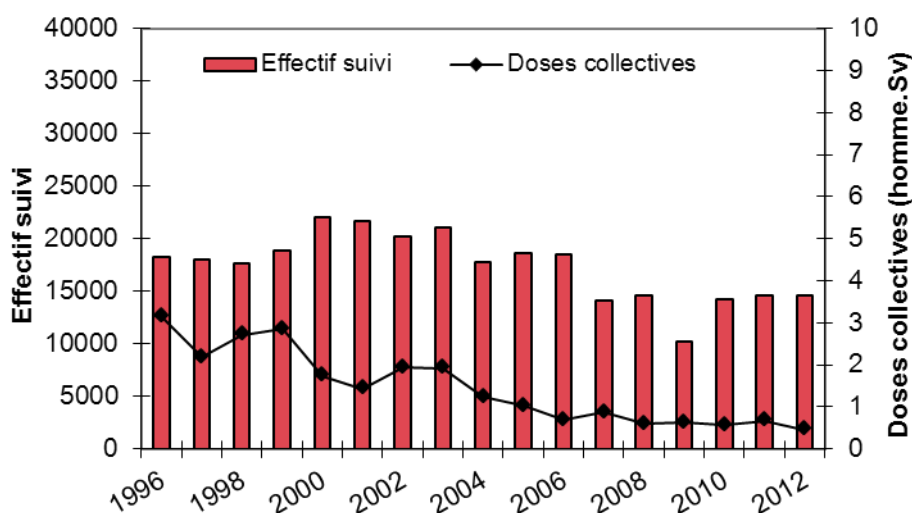


Figure 22 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2012)

La nette diminution de l'effectif suivi entre 2008 et 2009 (figure 22) est due à l'introduction de la nouvelle nomenclature des activités (précédemment l'ensemble des travailleurs du CEA étaient inclus dans le domaine de la recherche). L'augmentation de l'effectif entre 2009 et 2010 s'explique par le fait que l'ensemble des activités

de recherche sont désormais incluses dans ce domaine : recherche médicale, recherche liée au nucléaire, autre recherche et enseignement. Dans ce domaine où les doses sont relativement moins élevées que dans les autres, ces évolutions concernant l'effectif suivi n'ont pas un grand impact sur la dose collective associée.

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2012, 1 829 travailleurs du domaine de la recherche ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de

2,08 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,13 mSv.

### *Dosimétrie par bague*

56% des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2012 portent un dosimètre bague. La dose totale enregistrée auprès des 1 032 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 2,01 Sv. Cette dose est reçue à 62% par des travailleurs du secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement et à

37% par des travailleurs exerçant des activités de recherche au sein des installations nucléaires. Les travailleurs identifiés comme intervenant dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ont reçu le pourcent restant, mais leur faible effectif rend les statistiques associées peu représentatives de ce secteur.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée auprès des 797 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,07 Sv, dont 82% sont reçus au sein des installations de recherche liées au nucléaire et le

reste dans le secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Dans le domaine de la recherche, plus de la moitié des 10 394 examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires (52%), suivies par les examens anthroporadiométriques (39%). Les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux et de selles représentent respectivement 5% et 4% des examens réalisés dans ce domaine. Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont

mises en œuvre majoritairement (77%) dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (tableau 27).

En 2012, seul le secteur des installations de recherche liées au nucléaire a mis en place un suivi avec des examens anthroporadiométriques : 4 063 examens, dont aucun positif, ont été réalisés pour 3 435 travailleurs.

*Tableau 27 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement*

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	230	737	1
Installations de recherche liées au nucléaire	1 635	4 186	0
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	209	481	0
<b>Total</b>	<b>2 074</b>	<b>5 404</b>	<b>1</b>

## SURVEILLANCE SPECIALE

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou d'une surveillance de contrôle sont les plus nombreux dans le secteur des

installations de recherche liées au nucléaire, puis dans la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique (tableau 28).

**Tableau 28 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs(*)
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	83	260	5
Installations de recherche liées au nucléaire	141	363	1
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	38	75	0
<b>Total</b>	<b>262</b>	<b>698</b>	<b>6</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2012, aucun travailleur du domaine de la recherche et de l'enseignement n'a été l'objet d'un calcul de dose interne.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement d'une limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2012, 21 événements ont été recensés dans le domaine de la recherche :

- 20 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ;

- 1 ERP survenu dans un établissement de recherche (autre que nucléaire et médical).

Parmi les événements déclarés, 1 événement a été classé au niveau 1 de l'échelle INES, les autres étant classés au niveau 0.

Sur l'ensemble des événements recensés dans ce domaine, 18 événements ont fait l'objet d'une déclaration, selon les critères suivants :

- les critères de déclaration au titre de la radioprotection (11 événements) ;
- les critères de déclaration au titre de la sûreté ayant un impact sur radioprotection (6 événements) ;
- les critères de déclaration au titre de l'environnement ayant un impact sur radioprotection (1 événement).

La répartition des ERP du domaine de la recherche, déclarés au titre de la radioprotection dans les INB (11 événements), montre que la grande majorité d'entre eux n'ont pas été véritablement déclarés selon un critère précis, mais au titre du critère 10 (tableau 29).

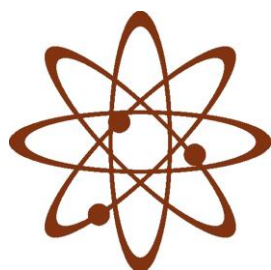
Les 3 autres événements, qui n'ont pas fait l'objet d'une déclaration connue de l'IRSN, sont des alertes de dépassement de limite réglementaire de dose.

**Tableau 29 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche (recherche liée aux installations nucléaires) en fonction des critères de déclaration ASN**

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
1 - Dépassement de la limite de dose individuelle annuelle (réel ou potentiel)	1
3 - Propreté radiologique	1
6 - Source	1
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	8
<b>Total</b>	<b>11</b>



# DOMAINE DE LA RADIOACTIVITE NATURELLE



## *SOMMAIRE*

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE	p 88
EXPOSITION AUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE	p 89
Evaluation du risque sur les lieux de travail	p 89
Données concernant la surveillance des travailleurs	p 91

## EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

En 2012, 18 compagnies françaises, dont Air France, avaient un abonnement à SIEVERT. Ainsi environ 23 000 personnels navigants ont bénéficié d'un suivi de leur exposition au rayonnement cosmique tout au long de l'année.

Parmi ces compagnies, Air France, Regional (filiale du groupe Air France pour les vols en Europe), Air Calédonie International et Unijet ont envoyé à l'IRSN les doses calculées pour leurs personnels en 2012. Le tableau 30 présente le bilan réalisé pour l'année 2012 concernant les personnels navigants de l'aviation civile. Selon ce bilan, 19% des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv, et 81% des doses sont supérieures ou égales à 1 mSv. Cette répartition des doses est identique à celle

observée en 2011 et reste très proche de celle observée dans d'autres pays européens, comme par exemple l'Allemagne ou les Pays-Bas. La dose individuelle annuelle moyenne est de 1,8 mSv (2,0 mSv en 2011). La dose individuelle annuelle maximale atteint 4,4 mSv, soit une valeur stable par rapport à 2011 (4,7 mSv).

Le tableau 31 présente un bilan des doses établies pour les personnels navigants de l'aviation militaire. A la différence du bilan présenté dans le tableau 31, ces doses ne sont pas le résultat d'un calcul, mais sont issues de mesures de l'équivalent de dose  $H_p(10)$  à l'aide de dosimètres individuels (composantes photonique et neutronique).

**Tableau 30 - Bilan 2012 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Regional, Air Calédonie International et Unijet)**

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)					Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5		
20 823	3 887 (18,7%)	7 700 (33,2%)	6 922 (32,1%)	2 261 (15,4%)	53 (0,6%)	1,8	4,4

**Tableau 31 - Bilan 2012 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire**

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)		Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	≥ 1		
487	458 (94%)	29 (6%)	0,4	2,6



## EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

### EVALUATION DU RISQUE SUR LES LIEUX DE TRAVAIL

#### *Industries NORM*

Certaines activités industrielles telles que la production de céramiques réfractaires, la combustion de charbon en centrales thermiques ou encore le traitement de minerais (d'étain, d'aluminium, etc.) mettent en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides (chaînes de filiation des uraniums et du thorium). La manipulation et la transformation de ces matières qualifiées de « NORM ou TENORM » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs par rapport à leur exposition due à la radioactivité naturelle de l'environnement.

Cette problématique dite des «expositions à la radioactivité naturelle renforcée» a été prise en compte pour la première fois au plan réglementaire au travers de dispositions introduites dans le code du travail par le décret 2007-1570 et définies plus précisément par l'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives. Cet arrêté précise la liste des activités ou des catégories d'activités professionnelles concernées et impose aux chefs d'établissements concernés de réaliser une évaluation des doses pour les travailleurs et la population.

#### Bilan des études reçues

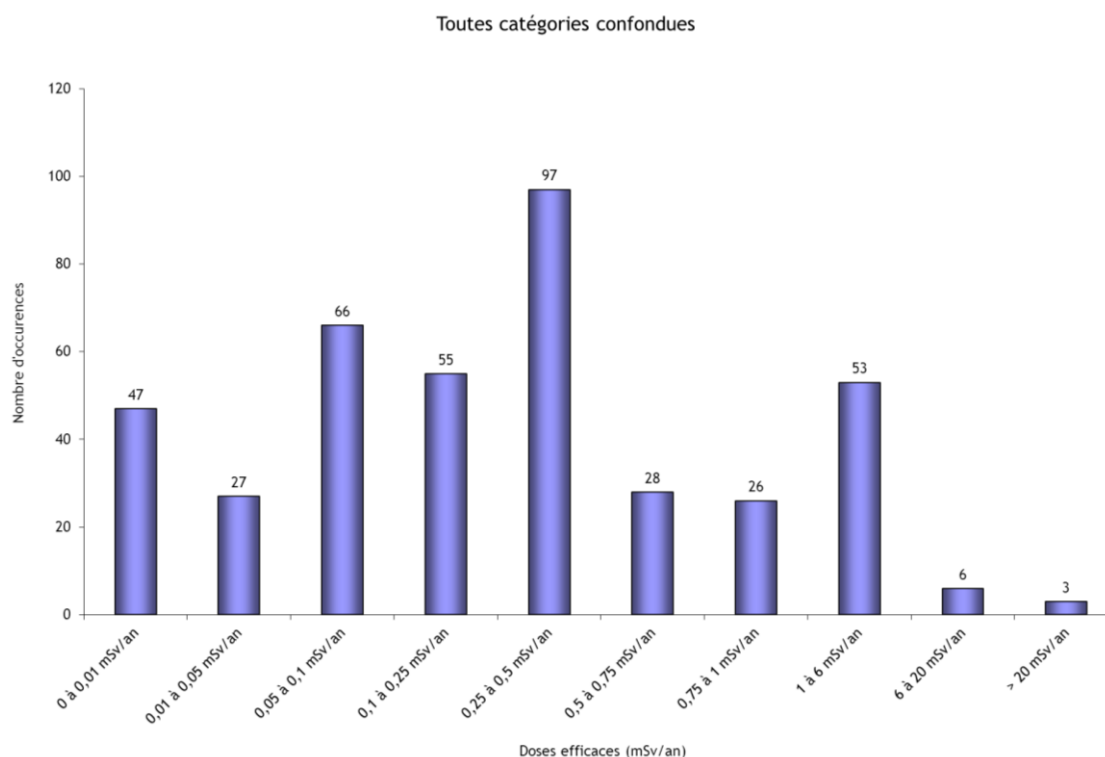
L'IRSN a été chargé de centraliser les évaluations de doses réalisées par les industriels dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005, afin d'établir une cartographie des doses reçues en France dans les différents secteurs industriels concernés.

En 2012, trois études produites en application de cet arrêté ont été transmises à l'IRSN, amenant le

nombre total d'études reçues sur la période 2005-2012 à 89 dont 85 traitent de l'exposition des travailleurs. Les études reçues en 2012 concernent un établissement thermal, une installation de filtration d'eau souterraine et une installation utilisant des composés contenant du thorium. Elles traitent toutes trois de l'exposition des travailleurs.

La répartition des études contenant au moins une évaluation de l'exposition des travailleurs selon les catégories d'activités professionnelles visées par l'arrêté du 25 mai 2005 montre que si certaines activités professionnelles, telles que la combustion de charbon, la production ou l'utilisation de zircon et de céramiques réfractaires, sont bien représentées parmi les études reçues, d'autres catégories, telles que le traitement d'eaux souterraines par filtration, les établissements thermaux, la production ou l'utilisation de composés contenant du thorium ou des terres rares, restent peu représentées. Cela soulève la question de la représentativité des données associées vis-à-vis de l'ensemble de l'industrie française.

Au total, les industriels ont évalué plus de 400 doses aux postes de travail. La figure 23 présente leur distribution. Environ 15% d'entre elles sont supérieures à la limite de 1 mSv/an ; limite au-delà de laquelle les travailleurs sont considérés comme « professionnellement exposés » au sens du code du travail et doivent faire l'objet d'une surveillance individuelle dosimétrique et médicale. Dans certaines catégories professionnelles, des doses efficaces individuelles au poste de travail peuvent être supérieures à 20 mSv/an. Elles ont fait l'objet d'une analyse spécifique de la part de l'IRSN et des dispositions de radioprotection ont été mises en place afin de limiter l'exposition des travailleurs, allant jusqu'à l'arrêt du poste.



**Figure 23 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2012)**

### Analyse des doses par l'IRSN

L'arrêté du 25 mai 2005 impose de tenir compte de l'exposition externe, de l'exposition interne par inhalation de poussières ainsi que de l'exposition interne par inhalation du radon et de ses descendants pour évaluer les doses efficaces.

En 2009, l'IRSN a analysé les doses efficaces présentées par les industriels dans les 77 dossiers reçus à l'époque. Cette analyse mettait en évidence une hétérogénéité des approches retenues par les industriels en termes de prise en compte des voies d'exposition et du bruit de fond radiologique. Ces hétérogénéités rendent la comparaison des doses présentées délicate. Néanmoins, l'IRSN a analysé l'ensemble des doses et en a validé environ 250 mettant en évidence que :

- les doses efficaces ajoutées relatives à la combustion de charbon en centrale thermique, à la production d'engrais phosphatés et à la fabrication d'acide phosphorique ainsi qu'au traitement de terres rares et à la production de pigments en contenant sont inférieures à 1 mSv/an. L'IRSN relevait toutefois le faible nombre de données

relatives aux deux dernières catégories d'activités professionnelles ;

- la quasi-totalité des doses efficaces ajoutées relatives à la production de céramiques réfractaires et aux activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie sont inférieures à 1 mSv/an. Ceci est cohérent avec les données publiées dans la littérature ;

- de nombreuses doses efficaces ajoutées pour les catégories relatives à la production de zircon et de baddeleyite, aux activités de fonderie et métallurgie en mettant en œuvre et au traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium sont de l'ordre de 2 mSv/an à 3 mSv/an ;

- les évaluations de doses efficaces relatives à la production ou l'utilisation de composés contenant du thorium sont rares mais mettent en évidence que dans certains cas, ces doses peuvent atteindre plusieurs dizaines de mSv/an du fait de l'inhalation de poussières.

Les trois études reçues en 2012 ne conduisent pas à modifier les conclusions établies en 2009 mais apportent un éclairage complémentaire pour des catégories d'activités professionnelles pour lesquelles le nombre de données était très limité en 2009 (établissements thermaux, installations de filtration d'eau souterraine et installation utilisant des composés contenant du thorium). Les doses efficaces estimées par les industriels dans les études reçues en 2012 sont inférieures à 1 mSv/an mais ne peuvent pas être considérées comme

représentatives du niveau d'exposition des travailleurs dans l'ensemble des établissements relevant de ces catégories. En effet, le nombre d'études pour ces catégories reste limité, des études sont encore attendues pour le traitement d'eaux souterraines par filtration et les établissements thermaux, et les méthodes d'évaluation des doses présentées par les industriels en 2012 n'ont pas été expertisées par l'IRSN à la date de parution de ce rapport.

## RADON

Suite à la mise en place de la réglementation relative à l'exposition des travailleurs au radon en 2008 (arrêté du 7 août 2008 et décision n°2008-DC-0110 de l'ASN homologuée par l'arrêté du 8 décembre 2008) et conformément à deux décisions de l'ASN (décisions n° 2009-DC-0135 et n° 2009-DC-0136 du 7 avril 2009, homologuées par l'arrêté du 5 juin 2009), l'IRSN a mis en place, fin 2009, deux nouveaux cursus de formation destinés aux organismes désirant obtenir les agréments Niveau 1 option A (mesure dans tous types de bâtiment) et Niveau 1 option B (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) de l'ASN. Pour l'année 2012, compte tenu d'un nombre insuffisant de participants, les trois sessions de formation initialement prévues ont dû être annulées. A l'issue de la commission d'agrément de juillet 2012, 41 organismes disposent de l'agrément niveau 1 option A et 6 organismes du niveau 1 option B.

Depuis la mise en place de la réglementation, des dépistages du radon dans les lieux de travail ont été réalisés par l'IRSN ou par des organismes agréés. Au total, l'IRSN a reçu une quarantaine de rapports de dépistage.

Enfin, dans une démarche d'harmonisation des textes méthodologiques de référence pour le dépistage réglementaire du radon (code de la santé publique et code du travail), l'IRSN a initié en 2010 la transposition, en norme AFRNOR, des guides méthodologiques relatifs au mesurage du radon dans les bâtiments souterrains, les établissements thermaux et dans les cavités et les ouvrages souterrains. A l'issue de ce travail réalisé au sein de la commission M60.3 du Bureau de Normalisation des Equipements Nucléaires, deux normes ont été produites : la norme AFNOR NF M60-771 relative au dépistage du radon dans tous types de bâtiment publiée en 2011 et la norme NF M60-772 relative au dépistage du radon dans les cavités et ouvrages souterrains en 2012. Par ailleurs, initiée en 2008 au sein du Working Group 17 du TC85/SC2 de l'ISO, l'IRSN participe à la transposition internationale du corpus des normes AFNOR relatives à la mesure du radon dans l'air. Les normes AFNOR NF M60-763 à NF M60-769 ont ainsi été remplacées en octobre 2012 par les normes NF ISO 11665-1 à NF ISO 11665-7. La norme AFNOR NF M60-771 relative au dépistage du radon dans tous types de bâtiment sera quant à elle remplacée par la norme NF ISO 11665-8 début 2013.

## DONNEES CONCERNANT LA SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS

Les données transmises par le laboratoire agréé pour les mesures des expositions aux radio-nucléides naturels descendants de l'uranium et du

thorium permettent d'établir un bilan de l'exposition externe mesurée à l'aide de dosimètres TLD (tableau 32) et de l'exposition

interne mesurée à l'aide du dosimètre alpha individuel (tableau 33).

Les travailleurs suivis en dosimétrie externe exercent dans les secteurs suivants : recherche et développement dans les domaines de la minéralurgie et de la métallurgie, production d'éponges de zirconium, recherche et développement dans le domaine des activités minières et prestations d'exploitation et de maintenance dans certaines de ces activités.

Parmi ces travailleurs, 218 sont également suivis pour leur exposition interne, auxquels s'ajoutent 2

travailleurs exposés au radon dans le cadre de leurs activités sur un barrage hydroélectrique.

A l'heure actuelle, ce bilan ne peut être considéré comme exhaustif, notamment concernant les expositions au radon d'origine géologique. En effet, d'après les rapports de dépistage reçus par l'IRSN, un certain nombre de lieux de travail présentent une exposition potentielle au radon impliquant la mise en œuvre d'une surveillance individuelle, et il s'avère que toutes les entreprises concernées ne sont pas incluses dans le bilan présenté ici.

**Tableau 32 - Données concernant l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium**

Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
262	0,073	0,28	0,29	9	247	6	0	0	0

**Tableau 33 - Données concernant l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium**

Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
220	0,045	0,20	0,28	58	153	9	0	0	0

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total surveillé.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif surveillé pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

# ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION

Un certain nombre de questions font aujourd'hui l'objet de réflexions et de travaux dans le domaine de la radioprotection des travailleurs. Ces travaux ont notamment pour objectifs de bien cerner les problématiques posées, de développer des approches méthodologiques pour évaluer au mieux les enjeux des situations rencontrées, de définir des doctrines permettant à terme d'optimiser et d'harmoniser les pratiques en France, mais aussi à une plus large échelle. Ces travaux mobilisent les experts mais aussi les chercheurs de l'IRSN, en fonction de leur complexité ou de leur degré d'avancement. Pour l'année 2012, ces travaux ont notamment concerné la sécurité des personnes contre les risques résultant de l'action des rayons X (aide à la mise en œuvre de la nouvelle norme NF C 15-160), la surveillance de l'exposition interne aux radionucléides de période courte, les perspectives d'abaissement de la limite de dose au cristallin ou encore le lancement du projet de plateforme européenne ESOREX.

## AIDE A LA MISE EN ŒUVRE DE LA NOUVELLE NORME NF C 15-160

La norme NF C 15-160, parue en novembre 1975, définit les règles générales de conception et d'exploitation relatives aux installations pour la production et l'utilisation de rayons X permettant d'assurer à tout moment la sécurité des personnes contre les risques résultant de l'action des rayons X. Compte tenu du changement des grandeurs dosimétriques et des unités associées, de l'évolution des dispositifs et applications, ainsi que des modifications de la réglementation relative à la radioprotection, l'Union Technique de l'Electricité (UTE<sup>6</sup>) a mis en place en 2005 un groupe de travail (incluant notamment l'IRSN) chargé de s'interroger sur la nécessité de revoir les règles générales de la norme NF C 15-160 et les règles particulières des domaines suivants :

- le radiodiagnostic médical et vétérinaire (NF C 15-161);
- la röntgenthérapie (NF C 15-162);
- le radiodiagnostic dentaire (NF C 15-163);
- la radiologie industrielle (NF C 15-164).

Cette révision de la norme propose un texte centré sur une méthode de calcul des protections qui s'apparente à celle déjà utilisée dans d'autres pays tels que l'Allemagne, l'Autriche, le Canada,

l'Espagne, la Grande Bretagne ou les USA. Cette méthode de calcul vise à déterminer la protection nécessaire en un point donné, compte tenu des caractéristiques de la source, de son utilisation, et du niveau d'exposition imposé par la réglementation en vigueur. Publiée et homologuée par l'AFNOR<sup>7</sup> en mars 2011, la nouvelle norme NF C15-160 implique désormais l'exploitant par le choix d'une valeur de charge de travail de son installation en fonction de l'activité radiologique développée. Parmi les changements, on retiendra que la nouvelle norme ne tient plus compte d'une surface minimale à respecter, ne propose plus de méthode simplifiée, et s'adapte à la réglementation en vigueur ainsi qu'aux évolutions de la radioprotection. Elle remplacera à terme, les anciennes normes qui restent à ce jour en vigueur, jusqu'à l'abrogation de l'arrêté du 30 août 1991. Une décision ASN rendra d'application obligatoire cette norme. L'arrêté du 30 août 1991 sera abrogé par l'arrêté homologuant la décision de l'ASN. Bien que cette nouvelle norme soit déjà utilisée par de nombreux exploitants et des bureaux d'ingénierie, il n'en demeure pas moins qu'elle suscite encore des interrogations en particulier sur les définitions de certains paramètres liés à la méthode de calcul. Une étude réalisée à l'IRSN dans le cadre d'un stage en 2012 a permis d'apporter

<sup>6</sup> L'UTE est l'organisme français de normalisation électrotechnique.

<sup>7</sup> L'AFNOR est l'organisme officiel français de normalisation, membre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) auprès de laquelle elle représente la France.

des réponses à ces interrogations en élaborant un guide d'aide pratique pour permettre aux utilisateurs de mieux appréhender cette méthode de calcul. La finalité de ce guide n'est pas de proposer une « méthode simplifiée » comparable aux anciennes normes, mais d'illustrer et de consolider les résultats obtenus à travers des situations concrètes, limitées dans un premier

temps au domaine du radiodiagnostic médical et dentaire. Etabli à partir du recueil du retour d'expérience d'utilisateurs de la nouvelle norme dans différents sites, permettant de synthétiser toutes les problématiques liées à la méthode de calcul, ce guide présente de plus l'intérêt de considérer les principales configurations d'installations radiologiques existantes.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE AUX RADIONUCLEIDES DE PERIODE COURTE

Les laboratoires mobiles de l'IRSN ont été conçus pour répondre aux situations de crise et ils sont d'ailleurs régulièrement mobilisés à l'occasion des exercices de crise organisés par les pouvoirs publics (Cf. Focus). Au-delà de ce contexte particulier, ces laboratoires mobiles sont nécessaires à la surveillance du personnel qui manipule des substances de courte période radioactive, comme c'est notamment le cas en médecine nucléaire.

Les laboratoires mobiles de l'IRSN permettant de réaliser des mesures anthroporadiométriques sur site sont de deux types :

- deux moyens mobiles d'expertise en anthroporadiométrie qui se présentent sous la forme de camions équipés d'une installation de mesure constituée d'une enceinte ouverte plombée (type baignoire) dans laquelle s'allonge la personne à mesurer (Laboratoire Mobile d'anthroporadiométrie, ou LMA, sur la figure 24). Ce système est équipé de deux détecteurs germanium de haute résolution permettant de réaliser des mesures du corps entier, des poumons et de la thyroïde ;
- un moyen léger de mesures anthroporadiométriques du corps entier et de la thyroïde, équipé de 4 postes de mesure (Véhicule Léger d'anthroporadiométrie, ou VLA, sur la figure 25).



© Noak/Le bar Floréal/IRSN

Figure 24 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA



© Pascale Monti/IRSN

*Figure 25 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie VLA*

En 2012, 4 campagnes de mesures anthroporadiométriques ont été effectuées avec les laboratoires mobiles d'anthroporadiométrie (LMA) dans 6 établissements médicaux de province. Ce contrôle de proximité, qui présente l'avantage d'effectuer un suivi pertinent de la contamination par des radioéléments à vie courte, a concerné 193 travailleurs. Au total, 235 examens d'anthropo-

radiométrie ont été réalisés, dont 72 « corps entier » et 163 « thyroïde ». Ces examens ont révélé une contamination interne chez 32 des travailleurs, 19 à l' $^{131}\text{I}$ , 11 au  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  et 2 au  $^{18}\text{F}$ .

Des campagnes de mesure peuvent également être réalisées pour la caractérisation ponctuelle de postes de travail (chantiers...).

## PERSPECTIVES D'ABAISSEMENT DE LA LIMITE DE DOSE AU CRISTALLIN

Les études scientifiques les plus récentes ont mis en évidence l'existence d'un risque de cataracte à des niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants significativement inférieurs à ceux qui avaient été considérés pour recommander la limite actuelle de dose équivalente au cristallin de 150 mSv par an chez les travailleurs. Le 21 avril 2011, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) avait publié une déclaration en faveur d'une réduction de la limite de dose à 20 mSv par an. Fin mai 2013 a été adoptée la directive « normes de base » révisant les directives Euratom 89/618, 90/641, 96/29, 97/43 et 2003/122, dans laquelle il est également prévu d'abaisser la limite de dose au cristallin à 20 mSv par an (15 mSv pour les apprentis et étudiants) ou 100 mSv sur 5 ans avec une dose maximale annuelle de 50 mSv. Cette directive doit prochainement être transcrite en droit français, avec comme conséquence l'abaissement effectif de cette limite de dose.

Cette perspective constitue un challenge en matière de radioprotection :

- une surveillance systématique de l'exposition de cet organe par dosimétrie passive ;

- une protection (individuelle et collective) obligatoire des yeux dans certains secteurs d'activité ;
- une sensibilisation et une formation des personnels.

Bien que ces dispositions soient d'ores et déjà réglementairement prévues dans le code du travail, force est de constater que leur mise en œuvre est quasi inexistante. L'IRSN estime que les situations d'exposition professionnelle du cristallin commencent à être bien documentées et que des moyens de surveillance et de protection à l'égard du risque qui en résulte existent. Cependant, il existe encore très peu de dosimètres aujourd'hui parfaitement adaptés et disponibles commercialement. Les moyens de protection individuelle et collective existants sont efficaces, même si les contraintes liées à leur utilisation rendent à ce jour leur acceptation par le personnel assez incertaine (en particulier les lunettes de protection). En tout état de cause, du temps et une adhésion de l'ensemble des acteurs concernés, dont au premier chef les personnels du secteur médical, seront nécessaires pour déployer ces moyens de manière totalement opérationnelle sur

le terrain et être en mesure de respecter la s'annonce.  
nouvelle limite réglementaire annuelle qui

## FOCUS

### Evaluation du risque de cataracte radio-induite chez les cardiologues interventionnels

Financé dans le cadre du réseau d'excellence DoReMi (*Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration*), le projet ELDO, auquel a participé l'IRSN, s'est achevé fin 2012 à l'issue d'une année de travail consacrée à la thématique du risque de cataracte radio-induite chez les cardiologues interventionnels exposés aux rayons X au cours des procédures qu'ils réalisent.

Le projet ELDO s'est appuyé sur une approche intégrée couplant épidémiologie et dosimétrie pour l'étude du risque de cataracte radio-induite chez les cardiologues interventionnels. Ce projet a porté sur la mise au point d'un protocole uniformisé pour ce type d'étude épidémiologique, phase préliminaire à la mise en place d'une future cohorte conjointe au niveau européen. Une méthodologie encadrée tant pour les aspects épidémiologiques (design de l'étude, critères d'inclusion et d'exclusion, méthode de recrutement, prise en compte de facteurs de confusion, choix d'une classification des opacités cristalliniennes, etc.), que pour les aspects dosimétriques (estimation rétrospective des doses cumulées aux yeux à partir de reconstitutions expérimentales et numériques et de questionnaires) a été développée. L'expérience des équipes de l'IRSN en épidémiologie (étude O'CLOC) et en dosimétrie (projet ORAMED) a permis l'implication de l'Institut dans ce projet coordonné par le SCK-CEN (Belgique), en collaboration avec le STUK (Finlande) et le BfS (Allemagne).

Ce projet devrait idéalement se poursuivre par la constitution d'une cohorte européenne de cardiologues interventionnels dans un cadre qui reste à définir.

## DEVELOPPEMENT D'UNE PLATEFORME EUROPEENNE D'INFORMATION ET D'ECHANGES SUR LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Selon une enquête publiée en 2009 par la Commission européenne<sup>8</sup>, plus d'un million de travailleurs en Europe font l'objet d'une surveillance dosimétrique individuelle, tous secteurs d'activité confondus. Afin de promouvoir les échanges et l'harmonisation des pratiques entre les Etats-membres, la Commission européenne a souhaité que soit développée une plateforme - dénommée ESOREX - d'information et d'échanges entre les experts sur les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants.

Les données statistiques relatives aux expositions enregistrées dans les différents pays devraient être collectées dans cette plateforme selon un format minimum d'échange afin de permettre des comparaisons à l'échelle de l'Europe. Fort de son expérience dans le domaine, c'est l'IRSN qui a été choisi à l'issue de l'appel d'offre lancé par la Commission européenne pour mener à bien ce projet.

Démarré en décembre 2012, ce projet a comme principaux objectifs de permettre aux experts de la radioprotection des travailleurs d'échanger sur

<sup>8</sup> Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External radiation. RADIATION PROTECTION N° 160; European Commission (2009)



leur expérience et de disposer de données permettant d'apprécier les évolutions de dose selon les secteurs d'activité dans les différents pays. Cette plateforme constituera également, pour la Commission européenne et les autorités compétentes des Etats-membres, un outil d'aide à la mise en œuvre harmonisée des exigences communautaires en matière de surveillance

individuelle et de protection radiologique des travailleurs, telles que déclinées dans la Directive « Normes de base » qui vient d'être adoptée. L'objectif ultime, à l'issue du projet qui s'achèvera en décembre 2015, est de disposer d'une infrastructure et de mécanismes pérennes permettant un fonctionnement continu de la plateforme ESOREX.

# CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

## Bilan de l'année 2012

### Bilan de la surveillance de l'exposition externe par dosimétrie passive

- Effectif total surveillé : 354 665 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total surveillé : 62,35 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,18 mSv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,86 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 13 977 travailleurs (soit 3,9% de l'effectif total surveillé par dosimétrie passive)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 14 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 1 travailleur

### Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'examens de routine réalisés : 349 995 examens (dont moins de 1% considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 358 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 11 travailleurs

### Bilan de la surveillance de l'exposition au rayonnement cosmique (aviation civile)

- Dose collective pour 20 823 personnels navigants : 38,6 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 1,9 mSv

## Evolution sur les 5 dernières années (dosimétrie externe passive corps entier)

	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur l'effectif total (mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Part de l'effectif ayant une dose $\geq$ 1mSv	Effectif ayant une dose $\geq$ 20mSv
2008	306 629	59,61	0,19	0,90	4,3%	16
2009	319 091	65,68	0,21	0,89	4,6%	15
2010	330 618	62,40	0,19	0,82	4,2%	8
2011	343 998	64,20	0,19	0,88	4,1%	8
2012	354 665	62,35	0,18	0,86	3,9%	14 <sup>(*)</sup>

(\*) au 30/04/2013

# CONCLUSIONS

La veille permanente en matière de radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants constitue l'une des missions importantes de service public de l'IRSN. Dans ce cadre, l'Institut établit chaque année un bilan des expositions des travailleurs dans tous les secteurs d'activité soumise à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique (industrie nucléaire, industrie non nucléaire, applications médicales et vétérinaires, recherche) ainsi que des travailleurs de la défense et de ceux exposés à des sources naturelles de rayonnement sur leur lieu de travail.

Les chiffres clefs pour l'année 2012 sont résumés ci-contre. La méthode d'établissement des statistiques nationales de l'exposition des travailleurs étant stabilisée depuis plusieurs années, il est possible d'observer les tendances de façon fiable. Globalement, on retient sur la période 2008-2012 une progression régulière de la population de travailleurs suivis, de l'ordre de 4% chaque année. Cette progression est principalement due à l'augmentation du nombre de travailleurs suivis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, et dans une moindre mesure dans le domaine nucléaire. Concernant la dose collective associée, les variations observées d'une année sur l'autre (de -5 à +10%) traduisent principalement des différences d'activité dans le domaine nucléaire (en particulier dans le secteur des réacteurs de production d'énergie, où des opérations importantes de maintenance de type visite décennale ont, par exemple, été reportées de 2010 à 2011). La part de l'effectif ayant enregistré une dose annuelle supérieure à 1 mSv (limite annuelle réglementaire pour le public) est également stable sur cette période, de

l'ordre de 4%. Dans le même temps, le nombre des dépassements de la limite annuelle réglementaire (20 mSv pour les travailleurs exposés) varie, sans tendance marquée, entre 8 et 16.

L'analyse des résultats suivant les domaines d'activité montre des disparités qui se traduisent notamment en termes de dose moyenne calculée sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement. En 2012, comme sur les cinq dernières années, c'est dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire que les doses annuelles sont les plus élevées en moyenne, avec respectivement 1,54 mSv et 1,16 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose annuelle moyenne reste inférieure à 1 mSv (respectivement égale à 0,49 mSv et 0,33 mSv).

Ces situations contrastées entre les différents secteurs d'activité ou catégories de travailleurs, restent à mieux caractériser pour identifier les situations où l'optimisation de la radioprotection doit tout particulièrement être renforcée. Les travaux réglementaires engagés pour la révision de l'arrêté du 30 décembre 2004, relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs, sont en passe d'aboutir avec la publication d'un nouveau texte courant 2013. Les évolutions introduites sont de nature à améliorer fortement la fiabilité et la complétude de l'information sur l'activité des travailleurs et permettre, dans les prochaines années, l'utilisation exclusive de SISERI pour établir le bilan annuel. Les statistiques nationales des expositions professionnelles s'en trouveront plus précises, que ce soit en termes d'activité, de métier ou de statut des travailleurs.

## REFERENCES

- [1] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs.
- [2] Recommandations de bonne pratique. Surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en installations nucléaires de base (juillet 2011). Société Française de Médecine du travail. <http://www.chu-rouen.fr/sfmt/pages/Recommandations.php>.
- [3] Norme CEI 62387-1 (juillet 2007). Instrumentation pour la radioprotection, systèmes dosimétriques intégrés passifs pour la surveillance de l'environnement et de l'individu.
- [4] Norme ISO 21909 (décembre 2005). Dosimètres individuel passifs pour les neutrons. Exigences de fonctionnement et d'essai.
- [5] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique.
- [6] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 - IRSN - Rapport DRPH/SER/2004-38 du 22/12/04 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [7] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 (compléments apportés au rapport DRPH/SER/2004-38) - IRSN - Rapport DRPH/SER/2005-03 du 10/02/05 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [8] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [9] La radioprotection des travailleurs - Activités de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection - IRSN - Rapport DRPH/2006-09 du 04/12/06 - Alain RANNOU (coordinateur), Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Pascale SCANFF, Jean-Luc REHEL, Myriam THEVENET
- [10] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-4 du 01/02/08 - Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [11] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2007 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-11 du 05/12/08 - Juliette FEUARDENT, Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Jean-Michel DELIGNE, Ronan MEAR, Jean-Philippe PIERRE, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [12] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2009-16 du 02/10/09 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, James BERNIERE, Isabelle CLAIRAND, Johnny DUMEAU, Gwenaëlle LORIOT, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [13] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2009 - IRSN - DRPH/DIR/2010-14 du 09/09/10 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Baptiste LOUIS, Nathalie PIRES, Françoise RANCILLAC, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF

[14] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010 - IRSN - DRPH/DIR/2011-19 du 23/09/11 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, Olivier CHABANIS, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Gwenaëlle LORIOT, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF

[15] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2011 - IRSN - PRP-HOM/2012-007 du 26/06/12 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, David CELLIER, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Pascale SCANFF

*Annexe : Nomenclature des secteurs d'activité*

Utilisations médicales et vétérinaires	
1101000	<b>Radiodiagnostic</b>
1101010	<i>Radiologie conventionnelle</i>
1101020	<i>Radiologie conventionnelle + scanner</i>
1102000	<b>Soins dentaires</b>
1103000	<b>Médecine du travail et dispensaires</b>
1104000	<b>Radiologie interventionnelle</b>
1104010	<i>Cardiologie</i>
1104020	<i>Neurologie</i>
1104030	<i>Vasculaire</i>
1104040	<i>Autres</i>
1105000	<b>Radiothérapie</b>
1105010	<i>Radiothérapie avec Cobalt ou accélérateur</i>
1105020	<i>Radiothérapie autre (protons, neutrons)</i>
1105030	<i>Curiethérapie bas débit</i>
1105040	<i>Curiethérapie pulsée ou haut débit</i>
1106000	<b>Médecine nucléaire</b>
1106010	<i>Services spécialisés en diagnostic</i>
1106011	<i>Sans TEP</i>
1106012	<i>Avec TEP</i>
1106020	<i>Services mixtes thérapie-diagnostic</i>
1107000	<b>Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie</b>
1108000	<b>Irradiation de produits sanguins</b>
1109000	<b>Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique</b>
1110000	<b>Médecine vétérinaire</b>
1111000	<b>Logistique et maintenance du médical (prestataires)</b>
1111010	<i>Logistique</i>
1111020	<i>Maintenance</i>
1112000	<b>Autres</b>
Transport de matières radioactives	
1201000	<b>Nucléaire</b>
1202000	<b>Médical</b>
1203000	<b>Sources à usages divers (industriel, etc.)</b>
Usages industriels et de services (hors entreprises de transport)	
1301000	<b>Contrôles utilisant des sources de rayonnements</b>
1301010	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X</i>
1301011	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes</i>
1301012	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X mobiles</i>
1301013	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes et mobiles</i>
1301020	<i>Détection de plomb dans les peintures</i>
1301030	<i>Utilisation de jauges industrielles</i>
1301031	<i>Utilisation de jauges industrielles à poste fixe</i>
1301032	<i>Utilisation de jauges industrielles avec matériel mobile</i>
1301033	<i>Utilisation de jauges industrielles fixes et mobiles</i>
1302000	<b>Soudage par faisceau d'électron</b>
1303000	<b>Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique)</b>
1304000	<b>Radio-polymérisation et « traitement de surface »</b>
1305000	<b>Stérilisations</b>
1306000	<b>Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens</b>
1307000	<b>Détection géologique (Well logging)</b>
1308000	<b>Logistique et maintenance dans le secteur industriel (Prestataires)</b>
1308010	<i>Logistique</i>

1308020	<i>Maintenance</i>
1309000	Autres
<b>Sources naturelles</b>	
1401000	Aviation
1402000	Mines et traitement des minerais
1403000	Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium
1404000	Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants
1404010	<i>Sources thermales et établissements thermaux</i>
1404020	<i>Captage et traitement des eaux</i>
1404030	<i>Autres</i>
1405000	Industries du gaz, du pétrole et du charbon
1406000	Autres
<b>Nucléaire</b>	
1501000	Propulsion nucléaire
1501010	<i>Equipage</i>
1501020	<i>Maintenance à terre</i>
1501030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
1502000	Armement
1502010	<i>Maintenance des installations</i>
1502020	<i>Transport</i>
1502030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
1503000	Extraction et traitement du minerai d'uranium
1504000	Enrichissement et conversion
1505000	Fabrication du combustible
1506000	Réacteurs de production d'énergie
1507000	Retraitement
1508000	Démantèlement des installations nucléaires
1509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)
1509010	<i>Traitement des effluents</i>
1509020	<i>Traitement et conditionnement des déchets</i>
1509030	<i>Entreposage</i>
1509040	<i>Stockage</i>
1510000	Logistique et maintenance du Nucléaire (Prestataires)
1510010	<i>Logistique</i>
1510011	Logistique dont le personnel est attaché aux sites
1510012	Logistique dont le personnel est itinérant
1510020	<i>Maintenance</i>
1510021	Maintenance dont le personnel est attaché aux sites
1510022	Maintenance dont le personnel est itinérant
1511000	Installations de recherche liées au Nucléaire
1512000	Autres
<b>Autres</b>	
1601000	Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement
1601010	<i>Centre d'enseignement et formation</i>
1601020	<i>Etablissements de recherche (autre que nucléaire et médical)</i>
1602000	Situations de crise (pompiers, protection civile...)
1603000	Organismes d'inspection et de contrôle
1603010	<i>Organismes d'inspection et de contrôle publics</i>
1603020	<i>Organismes de contrôle privés</i>
1604000	Activités à l'étranger
1605000	Activités sécurité-radioprotection-environnement

